

---

**Travail de fin d'études / Projet de fin d'études : Systèmes d'information de  
p̃y p̃rojects BIM - Identification et analyse des pratiques m  
favoriser la collaboration dans la phase de préparation à l'exécution - études de cas**

**Auteur :** Heuschen, Elodie

**Promoteur(s) :** de Boissieu, Aurélie

**Faculté :** Faculté des Sciences appliquées

**Diplôme :** Master en ingénieur civil architecte, à finalité spécialisée en ingénierie architecturale et urbaine

**Année académique :** 2021-2022

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/16326>

---

*Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---



UNIVERSITÉ DE LIÈGE  
FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES

# **SYSTÈMES D'INFORMATION DE PROJETS BIM**

IDENTIFICATION ET ANALYSE DES PRATIQUES MISES EN ŒUVRE POUR  
FAVORISER LA COLLABORATION DANS LA PHASE DE PRÉPARATION À  
L'EXÉCUTION

## **ETUDES DE CAS**

Travail de fin d'études réalisé en vue de l'obtention du grade de master  
« Ingénieur Civil en Architecture » par Heuschen Elodie

Promotrice :  
Aurélie de Boissieu

Lecteurs :  
Samia Ben Rajeb  
Guillaume Gronier  
Pierre Leclercq

Année académique 2021-2022



---

## RÉSUMÉ

Ce travail s'intéresse à l'organisation de projets BIM lors de la phase de préparation à l'exécution. Comme dans de nombreux autres domaines, la digitalisation des pratiques bouleverse les habitudes des entreprises de construction en proposant des outils de plus en plus variés et développés. Une réflexion poussée, quant à la mise en place d'un système d'information régissant les pratiques à appliquer, devient alors une nécessité pour permettre à des projets de grande ampleur d'aboutir dans les meilleures conditions. La recherche vise à déterminer l'impact du système d'information de projet sur la collaboration entre acteurs. À cette fin, trois projets sont analysés en tant que cas d'étude. Une série d'entretiens d'une part, mais aussi l'exploration des différents systèmes d'information, d'autre part, ont permis de récolter les données nécessaires à la formulation des résultats. Ainsi, le statut de support à la collaboration des systèmes d'information mis en place dans les cas d'étude a pu être confirmé. De plus, parmi les freins à la collaboration des projets soulevés par les acteurs, ceux potentiellement surmontables grâce à une amélioration du système d'information ont été identifiés.

---

## ABSTRACT

This paper focuses on the organization of BIM projects during the preparation phase for execution. As in many other areas, the digitization of practices is disrupting the habits of construction companies by offering increasingly varied and developed tools. To allow large-scale projects to be carried out in ideal conditions, an in-depth on the establishment of an information system governing the good practices becomes a necessity. The study aims to determine the impact of the project information system on collaboration between actors. To this end, three projects are analyzed as case studies. The data necessary to highlight this impact was gathered through two processes. On the one hand, a series of interviews were conducted. On the other hand, the various information systems were explored. Thus, the collaboration support status of the information systems set up in the case studies could be confirmed. Moreover, the surmountable obstacles to collaboration among the ones mentioned by the interviewees were identified.

---

# REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier Aurélie de Boissieu, ma promotrice, pour son suivi et ses conseils avisés tout au long de cette année. Merci pour votre bonne humeur et votre soutien qui m'ont grandement aidée à poursuivre la rédaction de ce travail.

Merci à Madame Ben Rajeb, et Messieurs Leclercq et Gronier pour leur lecture et l'intérêt porté à cette recherche.

Merci à l'entreprise BESIX, particulièrement à Messieurs Boucher et Vandebogaerde, pour leur accueil et leur confiance. Je remercie également l'ensemble des personnes ayant accepté avec bienveillance de répondre à mes questions lors des entretiens.

Merci à mes camarades ingé archi pour le soutien collectif que nous nous sommes mutuellement fourni tout au long de cette année, mais aussi sur l'ensemble des cinq longues années qui viennent de s'écouler et qui m'ont permis de rencontrer de merveilleuses personnes.

Enfin, je remercie ma famille, mes amis et surtout mon compagnon qui ont toujours cru en moi et ont été d'un support inépuisable. J'adresse également un dernier remerciement un peu particulier à mes chats, Lou et Soka, qui m'ont tenu compagnie malgré les fortes chaleurs et ma chambre située au dernier étage de la maison.

---

# TABLE DES MATIÈRES

<b>I.</b>	<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>9</b>
<b>II.</b>	<b>ETAT DE L'ART</b> .....	<b>11</b>
<b>II.1</b>	<b>COLLABORATION</b> .....	<b>11</b>
II.1.1	Définition.....	11
II.1.2	Coopération, coordination et collaboration .....	11
II.1.3	Les modes du travail collaboratif .....	14
II.1.4	Les espaces de travail .....	15
II.1.5	Les freins au travail collaboratif.....	16
II.1.6	Le travail collaboratif outillé.....	19
<b>II.2</b>	<b>SYSTÈME D'INFORMATION DE PROJETS BIM</b> .....	<b>24</b>
II.2.1	L'approche et le développement du BIM .....	24
II.2.2	Les acteurs des projets BIM .....	26
II.2.3	Protocole et Plan d'Exécution BIM (BEP).....	27
II.2.4	Maquette numérique BIM .....	28
II.2.5	Environnement Commun de Données (CDE) .....	30
<b>II.3</b>	<b>SYNTHÈSE DE L'ÉTAT DE L'ART ET QUESTION DE RECHERCHE</b> .....	<b>37</b>
<b>III.</b>	<b>MÉTHODOLOGIE</b> .....	<b>39</b>
<b>III.1</b>	<b>APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE</b> .....	<b>39</b>
III.1.1	MÉTHODES D'ENQUÊTES .....	39
<b>III.2</b>	<b>CHOIX DE L'ENTREPRISE ET DES PROJETS</b> .....	<b>41</b>
III.2.1	Critères de sélection .....	41
III.2.2	Choix de l'entreprise .....	41
III.2.3	Choix des projets .....	42
<b>III.3</b>	<b>GRILLE D'ANALYSE</b> .....	<b>42</b>
<b>III.4</b>	<b>DÉROULÉ DE LA RÉCOLTE DE DONNÉES</b> .....	<b>43</b>
<b>III.5</b>	<b>DÉTAILS DE LA RÉCOLTE DE DONNÉES</b> .....	<b>45</b>
III.5.1	L'analyse d'artéfacts .....	45
III.5.2	Les entretiens semi-directifs.....	46

<b>IV. ETUDE DE CAS .....</b>	<b>50</b>
<b>IV.1 ORGANISATION GÉNÉRALE DES PROJETS BIM DANS L'ENTREPRISE .....</b>	<b>50</b>
IV.1.1 Niveau de développement du BIM.....	50
IV.1.2 Définition des rôles BIM.....	50
IV.1.3 Organisation type d'un Système d'Information de projet .....	52
<b>IV.2 ETUDE DU PROJET 1.....</b>	<b>54</b>
IV.2.1 Réflexion d'ensemble sur l'organisation du système d'information .....	55
IV.2.2 Gestion des maquettes métiers et fédérée – MMS .....	55
IV.2.3 Gestion des documents – DMS .....	56
IV.2.4 Gestion des problèmes – IMS.....	56
IV.2.5 Système de validation.....	57
IV.2.6 Workflow général de la gestion des modèles .....	58
IV.2.7 Hiérarchie des accès .....	59
IV.2.8 Communication .....	59
IV.2.9 Clarté et facilité d'usage du SI .....	59
IV.2.10 Maturité BIM du projet et des collaborateurs.....	60
IV.2.11 Projet 1 – Eléments d'analyse et de synthèse .....	61
<b>IV.3 ETUDE DU PROJET 2.....</b>	<b>65</b>
IV.3.1 Réflexion d'ensemble sur l'organisation du système d'information .....	66
IV.3.2 Gestion des maquettes métiers et fédérée – MMS .....	66
IV.3.3 Gestion des documents – DMS .....	67
IV.3.4 Gestion des problèmes – Détection et IMS .....	67
IV.3.5 Système de validation.....	68
IV.3.6 Workflow général de la gestion des modèles .....	69
IV.3.7 Hiérarchie des accès .....	70
IV.3.8 Communication .....	70
IV.3.9 Clarté et facilité d'usage du SI .....	70
IV.3.10 Maturité BIM du projet et des collaborateurs.....	71
IV.3.11 Projet 2 – Eléments d'analyse et de synthèse .....	72
<b>IV.4 ETUDE DU PROJET 3.....</b>	<b>75</b>
IV.4.1 Réflexion d'ensemble sur l'organisation du système d'information .....	76
IV.4.2 Gestion des maquettes métiers et fédérée - MMS .....	77
IV.4.3 Gestion des documents – DMS .....	78
IV.4.4 Gestion des problèmes - IMS .....	79
IV.4.5 Système de validation.....	80
IV.4.6 Workflow général de la gestion des modèles .....	81
IV.4.7 Hiérarchie des accès .....	82
IV.4.8 Communication .....	82

IV.4.9	Clarté et facilité d'usage du SI .....	83
IV.4.10	Maturité BIM du projet et des collaborateurs.....	84
IV.4.11	Projet 3 – Eléments d'analyse et de synthèse.....	86
<b>V.</b>	<b>DISCUSSION.....</b>	<b>90</b>
<b>V.1</b>	<b>DISCUSSION DES RÉSULTATS VIS-À-VIS DE LA RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE.....</b>	<b>90</b>
V.1.1	Le système d'information comme support à la collaboration .....	90
V.1.2	Les freins à la collaboration .....	92
<b>V.2</b>	<b>LIMITES DE L'ÉTUDE.....</b>	<b>94</b>
<b>V.3</b>	<b>APPORTS .....</b>	<b>95</b>
<b>V.4</b>	<b>PERSPECTIVES.....</b>	<b>95</b>
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>97</b>
<b>VII.</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>99</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANNEXE .....</b>	<b>103</b>
<b>VIII.1</b>	<b>Grille d'entretien générale.....</b>	<b>103</b>

---

# TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Le modèle des 3C dans le cadre du travail collaboratif (traduit d'après Fuks et al, 2007) ...	13
Figure 2 : Phases de co-conception et de conception distribuée d'un projet (Moa et al, 2015).....	15
Figure 3 : Espaces de travail (d'après Ben Rajeb et Leclercq, 2015) .....	15
Figure 4 : Les 5 Co - Fonctions basiques d'un collectif (Fougères et Ospina, 2009).....	22
Figure 5 : Diagramme temporel de projet (Mac-Leamy, 2010) .....	25
Figure 6 : Utilisation des modèles (traduit de BIME Initiative, 2015).....	25
Figure 7 : Usages du BIM selon les phases projet (traduit d'après Messner et al, 2019).....	26
Figure 8 : Création et utilisation du modèle fédéré (traduit d'après ADEB-VBA, 2015).....	29
Figure 9 : Centralisation des données (Guide du bâtiment durable, 2018) .....	30
Figure 10 : Étapes théoriques de validation de l'information (ISO 19650-1 p14).....	31
Figure 11 : Flux de travaux dans un CDE (ISO 19650-1 p27).....	32
Figure 12 : Perspective des stades de maturité de collaboration BIM (ISO 19650).....	35
Figure 13 : L'ère de l'information (Pendergast et Hayne, 1999).....	35
Figure 14 : Schématisation chronologique de la méthodologie .....	40
Figure 15 : Déroulé de la récolte de données .....	44
Figure 16 : Exemple de plateformes accessibles .....	45
Figure 17 : Workflow principal de l'échange de modèle - Projet 1 .....	58
Figure 18 : Workflow général de la gestion des modèles - Projet 2.....	69
Figure 19 : Workflow général de la gestion des modèles – Projet 3 .....	81

---

# TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Matrice des problèmes (d'après Xue et al, 2007).....	17
Tableau 2 : Matrice espace/temps d'après Ben Dhiaf, 2011).....	20
Tableau 3 : Projets étudiés dans le cadre de l'analyse de cas .....	42
Tableau 4 : Liste des personnes interviewées selon les projets .....	47
Tableau 5 : Présentation du premier projet.....	54
Tableau 6 : Plateformes principales utilisées pour la gestion de l'information dans le 1er projet .....	54
Tableau 7 : Caractérisation du SI du projet 1 d'après les modes de travail collaboratifs .....	61
Tableau 8 : Classification des outils du projet 1 selon les "5 Co" .....	61
Tableau 9 : Matrice espace/temps des collecticiels du projet 1 .....	62
Tableau 10 : Flexibilité et modes de coopérations exploitées des outils du projet 1.....	63
Tableau 11 : Classification des freins à la collaboration du projet 1 .....	63
Tableau 12 : Présentation du deuxième projet .....	65
Tableau 13 : Plateformes principales utilisées pour la gestion de l'information dans le 2e projet .....	65
Tableau 14 : Caractérisation du SI du projet 2 d'après les modes de travail collaboratifs .....	72
Tableau 15 : Classification des outils du projet 2 selon les "5 Co" .....	72
Tableau 16 : Matrice espace/temps des collecticiels du projet 2.....	73
Tableau 17 : Flexibilité et modes de coopérations exploités par les outils du projet 2 .....	73
Tableau 18 : Classification des freins à la collaboration du projet 2.....	74
Tableau 19 : Présentation du troisième projet .....	75
Tableau 20 : Plateformes principales utilisées pour la gestion de l'information dans le 3e projet .....	75
Tableau 21 : Caractérisation du SI du projet 3 d'après les modes de travail collaboratifs .....	86
Tableau 22 : Classification des outils du projet 3 selon les "5 Co" .....	86
Tableau 23 : Matrice espace/temps des outils du projet 3 .....	87
Tableau 24 : Flexibilité et modes de coopérations exploitées des outils du projet 3.....	87
Tableau 25 : Classification des freins à la collaboration du projet 3.....	88
Tableau 26 : Nature des freins rencontrés .....	93

# I. INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, les technologies et méthodologies BIM (Building Information Modeling) ont fait leur apparition dans le domaine de la construction, proposant des usages et des innovations toujours plus variés et en constante évolution. Parmi ces fonctionnalités, celle de la gestion de l'information est au centre des réflexions du BIM, et permet à l'ensemble des collaborateurs d'un projet d'architecture de produire, de modifier, mais surtout de partager leur travail aux autres équipes participant au projet. Cependant, avoir recours aux outils BIM les plus poussés ne signifie pas que le projet pourra systématiquement profiter de ses bénéfices. Le risque est particulièrement important pour les chantiers de grande ampleur, où le nombre élevé de personnes impliquées dans un projet complexifie la mise en place d'un système efficient et accessible à l'ensemble des équipes. Dans ce contexte, la compréhension des stratégies et de l'organisation mise en place par les entreprises de construction pour atteindre un niveau de collaboration satisfaisant devient une question essentielle.

Mes premiers questionnements portant sur ce sujet se sont posés lors d'un travail particulièrement intéressant réalisé en première master à l'Université de Liège dans le cadre du cours de Studio Digital Collaboratif & BIM. Celui-ci introduisait le travail d'équipe BIM lors de la préparation à l'exécution d'une construction, et simulait, par attribution de métiers aux étudiants, le déroulement d'un tel projet. Le rôle de BIM Coordinateur qui m'avait alors été attribué m'a permis de me rendre compte de la complexité que cette organisation représente. Un premier élément de réponse m'est parvenu ensuite lors de mon stage réalisé, à nouveau dans le contexte de mes études, au sein de l'entreprise internationale BESIX à Bruxelles particulièrement développée dans le domaine du BIM. La volonté de compréhension de telles structures de projet m'a poussée à prolonger mes réflexions et à vouloir les investiguer plus en profondeur et comprendre tous les enjeux dans ce travail de fin d'études.

L'objectif de ce travail est par conséquent d'interroger l'organisation BIM dans les grands projets de construction, et plus particulièrement d'interroger les échanges d'information en situation de préparation de chantier. Dans ce travail, nous nous intéressons à différentes

structurations numériques d'informations de projet de construction établies et utilisées actuellement dans de réels projets. Ceci, afin de pouvoir en retirer un ensemble d'observations et de recommandations quant aux pratiques à mettre en place pour favoriser la collaboration à l'aide de systèmes d'information réfléchis en ce sens, et ce dans le cadre de projets ayant des similitudes avec les projets étudiés.

Dans un premier temps, un chapitre état de l'art rend compte des recherches bibliographiques réalisées dans les domaines de la collaboration et des pratiques et outils BIM. Dans le chapitre suivant, une méthodologie de recherche est proposée pour la récolte de données. La quatrième décrit, pour chaque cas d'étude analysé, le fonctionnement du projet concerné. Enfin, les discussion des résultats et conclusion clôturent la recherche.

## II. ETAT DE L'ART

La recherche bibliographique effectuée dans le cadre de ce travail s'intéresse et se structure autour de deux grands thèmes : la collaboration dans un premier temps, et les systèmes d'information de projet dans un second. De cette manière, les aspects aussi bien sociaux que technologiques auront été définis et permettront d'aborder la recherche avec les connaissances requises.

### II.1 COLLABORATION

#### II.1.1 DÉFINITION

La collaboration est une notion large et complexe. Les termes latins *cum*, signifiant avec, et *laborare*, signifiant travailler, donnent une première explication de la collaboration : travailler avec d'autres personnes. La définition actuelle du dictionnaire Larousse confirme sa signification puisqu'il le définit par : « *Action de collaborer, de participer à une œuvre avec d'autres* ».

Dans le cadre de ce travail, nous nous intéressons aux aspects de la collaboration au sein d'entreprises, plus particulièrement au travail collaboratif en entreprise. Remarquons que le terme travail collectif est également fréquemment utilisé pour représenter cette notion.

Karsenty et Pavard (1997) définissent le travail collaboratif comme étant « *l'articulation de compétences et/ou de tâches individuelles nécessaires à l'accomplissement d'un but commun* ». L'objectif commun est effectivement l'une des caractéristiques principales du travail collaboratif. Celui-ci repose sur 3 piliers complémentaires, appelés aussi le modèle des « 3C » (Ellis et Weiner, 1994) : qui regroupe la **coopération**, la **coordination** et la **communication** entre acteurs.

#### II.1.2 COOPÉRATION, COORDINATION ET COLLABORATION

Les termes de collaboration, coopération et coordination sont liés et régulièrement utilisés ensemble dans la littérature (Ouni, 2008). Il existe une réelle proximité entre ces termes, et l'un implique souvent les autres.

## **Coopération**

La coopération désigne des actions tournées vers un même but, et repose sur la finalisation de ces actions collectives pour atteindre ce but (Levan, 2016). Le groupe coopère en produisant des informations, en modifiant le contenu d'informations existantes et en les partageant aux autres collaborateurs dans un espace de travail dédié (Fuks et al, 2007).

Afin de mieux percevoir cette notion, nous pouvons l'illustrer par la coopération entre un ensemble de sous-traitants, travaillant chacun dans un domaine spécifique tels que la structure ou les équipements techniques, qui permet à terme d'édifier un ouvrage complet et cohérent.

## **Coordination**

La coordination consiste en l'organisation et la régulation des activités de chacun. En effet, les tâches, bien que majoritairement individuelles, sont interdépendantes, elles aboutissent au partage de ressources entre les acteurs, et nécessitent une gestion d'ensemble (Malone et Crowson, 1990). Alors que la coopération décrit la finalisation des actions, la coordination décrit sa régulation (Levan, 2016).

Il est fréquent, par exemple, d'avoir recours à des réunions de coordination quotidiennes ou hebdomadaires dans les projets de constructions, afin de visualiser les tâches et la progression de chacun afin de discuter des problèmes rencontrés.

## **Communication**

La communication correspond à la transmission d'informations entre différentes personnes. La qualité de ces échanges dépend du niveau de compréhension entre les individus. Chaque personne possède ses propres connaissances et ses codes de langage, qui constituent sa sphère personnelle (Moles, 1986). La communication sera d'autant plus efficace que les sphères personnelles des interlocuteurs coïncident.

Le terme communication est particulièrement vaste et englobe tout échange entre deux ou plusieurs acteurs. La distinction doit cependant être faite entre les communications structurées, dites **formelles**, qui suivent les conventions de transmission qui ont été définies, et les communications **informelles**, qui sont quant à elles spontanées et découlent des relations entre les acteurs. Baina (2013) affirme que l'informel fait couramment partie du

fonctionnement d'une entreprise et qu'il complète les interactions formelles. Lorsque les canaux de communication formels ne permettent pas de réaliser l'interaction souhaitée, les canaux informels sont alors la solution évidente (Amosse et al, 2010). Cependant, lorsqu'une transmission d'information est réalisée de manière spontanée, il est possible que celle-ci ne soit aucunement notifiée dans le projet, que seuls les acteurs concernés soient au courant de cette communication, et que par conséquent la traçabilité de l'information soit compromise.

Selon sa nature et son ampleur, une entreprise possèdera un niveau de formalisation, c'est-à-dire un niveau d'encadrement des communications, plus ou moins important (Hughes et al, 2005). Dans le cadre d'une entreprise de construction, cela signifie que plus celle-ci réalise des projets importants nécessitant un nombre d'acteurs conséquent, plus les communications doivent être encadrées pour assurer un fonctionnement optimal.

La figure suivante (voir figure 1) illustre les liens et la complémentarité de ces termes tels que proposés par Fuks et al. (2007) :

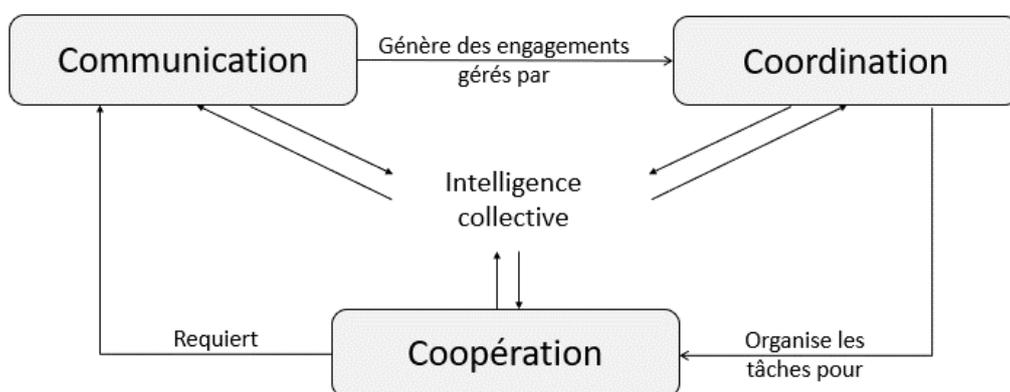


Figure 1 : Le modèle des 3C dans le cadre du travail collaboratif (traduit d'après Fuks et al, 2007)

Dans le domaine du travail collaboratif, l'**intelligence collective** (ou même collaborative pour insister sur la notion de collaboration qui lui est indissociable) qualifie la capacité du groupe à travailler ensemble (Levan, 2016), qui dépend par conséquent des niveaux de coopération, de coordination et de communication atteints.

Lors d'une interview publiée en 2019, Levan déclarait que, dans le contexte des projets de construction BIM en particulier, construire un niveau de collaboration suffisant pour

pouvoir faire émerger l'intelligence collaborative et en tirer les bénéfices des technologies n'est possible que si toutes les parties prenantes sont impliquées et engagées.

### II.1.3 LES MODES DU TRAVAIL COLLABORATIF

Il est nécessaire de différencier les deux modes possibles du travail collaboratif (Darses et Falzon, 1996) :

- La **co-conception**,
- La **conception distribuée**.

Alors que dans la **co-conception**, les acteurs collaborent à la réalisation d'une même tâche et prennent les décisions déterminantes ensemble, la **conception distribuée** se base, comme son nom l'indique, sur la distribution des tâches entre les acteurs. Ceux-ci réalisent donc de manière indépendante des actions différentes qui leur ont été allouées, tout en ayant un objectif final commun.

La mise en commun fréquente des résultats individuels intermédiaires ainsi que la répartition du travail entre acteurs est également nécessaire afin d'assurer la cohérence globale et de tendre vers cet objectif commun à l'ensemble des acteurs. Les moments dédiés à cette mise en commun sont dits de synchronisation. Darses et Falzon en distinguent deux types :

- La **synchronisation cognitive**, où les acteurs précisent la situation actuelle et les problèmes rencontrés, et confirment ou modifient la manière dont ils abordent cette situation. Ce type de synchronisation est dominant lors de phases de co-conception.
- La **synchronisation opératoire** est davantage tournée vers l'organisation et la répartition des tâches. Il s'agit, dans ce cas, de coordination et concerne principalement les phases de conception distribuée.

Toujours d'après Darses et Falzon (1996), il n'est pas possible d'attribuer à un projet l'utilisation d'un seul mode de travail. Il s'agit toujours en réalité d'une association d'actions de co-conception et d'actions de conception distribuée, qui s'articulent à des moments distincts du projet. Les deux modes du travail collaboratif peuvent par exemple se répartir comme représenté sur la figure suivante (voir figure 2), en alternant des phases de

co-conception où les collaborateurs présentent leur avancement, prennent des décisions et se distribuent les tâches, avec des phases de conception partagée (Mao et al, 2015) :

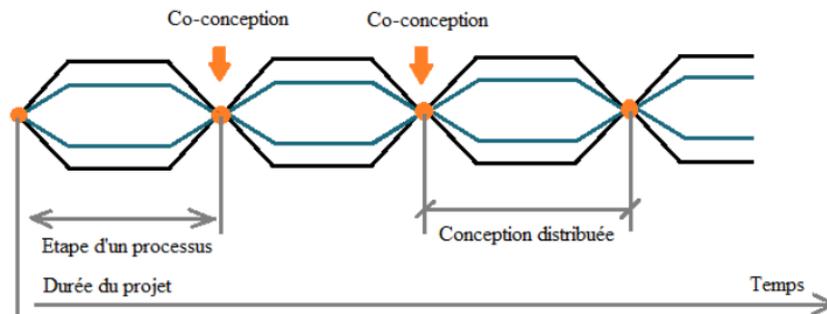


Figure 2 : Phases de co-conception et de conception distribuée d'un projet (Moa et al, 2015)

#### II.1.4 LES ESPACES DE TRAVAIL

La réalisation d'un travail collaboratif nécessite un espace de travail commun afin de pouvoir partager ses informations avec l'ensemble des autres membres du projet. Cependant, d'autres espaces éphémères s'ajoutent à cet espace commun et sont créés occasionnellement afin de permettre à un ou plusieurs collaborateurs de s'isoler et travailler à l'écart du groupe. Leclercq et Ben Rajeb (2015) proposent et illustrent (voir figure 3) trois catégories d'espace :

- **I-Space** : représente l'espace de travail personnel isolé
- **We-Space** : représente l'espace de travail commun à la totalité des collaborateurs
- **Space-Between** : représente l'espace de travail commun à une partie des collaborateurs indépendamment du groupe complet

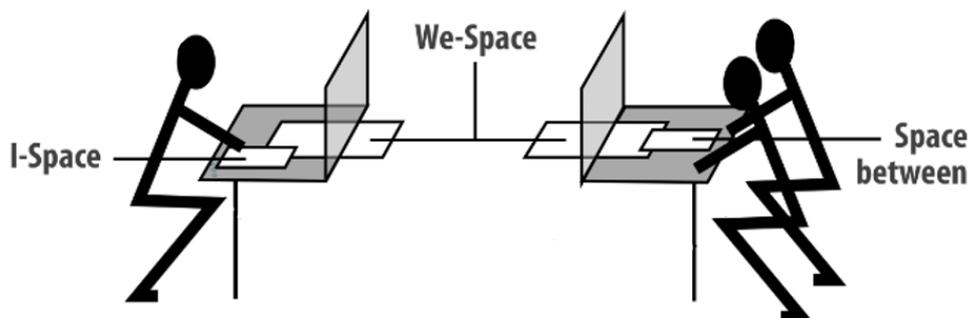


Figure 3 : Espaces de travail (d'après Ben Rajeb et Leclercq, 2015)

### II.1.5 LES FREINS AU TRAVAIL COLLABORATIF

De nombreux aspects ont été reconnus capables de freiner la collaboration. Gangloff-Ziegler (2009) synthétise, suite à ses recherches, les différents freins principaux au travail collaboratif :

Tout d'abord, il est possible que la collaboration soit freinée par un **manque de connaissances** de certains acteurs, qu'il s'agisse de la connaissance du domaine concerné par la collaboration ou également de la connaissance des outils, souvent lié à un manque de formation. En outre, lorsqu'un collaborateur ressent un de ces manques de connaissances, il peut ne pas se sentir légitime de ses apports ou redouter le regard critique des autres intervenants. Au contraire, si l'acteur se sent supérieur, il ne voudra pas que le niveau des autres tâches réalisées par d'autres ne dévalorise son travail.

Le second grand aspect, régulièrement mis en lien avec le niveau de collaboration, est celui de la **volonté individuelle** des acteurs. La volonté peut émerger lorsque le contributeur estime qu'il y a un intérêt à collaborer, c'est-à-dire par exemple lorsqu'il y a une rémunération, une reconnaissance sociale ou alors simplement par altruisme. En cas d'absence de ces intérêts, la contrainte peut alors remplacer la volonté et se matérialise, par exemple, par la subordination juridique liée à un contrat. L'investissement est également proportionnel à la visibilité de la contribution personnelle. En effet, lorsque le résultat personnel est difficilement dissociable du résultat collectif, les efforts individuels ne sont pas mis en valeur et ne sont plus motivés par le besoin de reconnaissance.

Le manque de **temps**, une **organisation** de l'entreprise favorisant la compétition et, par conséquent étant en contradiction avec la vision collaborative, ou encore un manque de moyens **financiers** ou **techniques** peuvent eux aussi nuire à la collaboration dans le groupe.

Le dernier aspect important à mettre en évidence concerne la notion de **confiance**. Le récepteur doit avoir confiance en l'émetteur et dans les informations qu'il lui transmet, sans quoi le déroulement du projet sera sans cesse freiné et l'efficacité du groupe compromise.

Kramer a établi en 1999 des recherches sur la confiance dans les organisations et en a déduit 6 fondements de la confiance :

- La prédisposition à faire confiance, propre à la personnalité de chacun

- Les expériences passées, qu'elles soient positives ou négatives
- Les tiers comme canaux de confiance, lorsqu'il n'y a aucune expérience passée mais que les rumeurs ébruient celles des autres
- La catégorie sociale ou institutionnelle
- Le rôle de l'individu dans l'organisation
- La confiance basée sur les règles définies par le groupe

Annie Guerriero (2009) explique notamment que, dans le cadre d'un chantier de construction, la qualité de la collaboration dépend, entre autres, de l'autonomie et du sens des responsabilités de chacun mais que ces notions se reposent sur la notion de confiance.

De plus, il est fréquent que les acteurs d'un projet de construction ne se connaissent pas à ses débuts. La notion de confiance va ainsi principalement dépendre de la première impression, puis évoluera positivement ou négativement lors du déroulement du projet.

#### II.1.5.1 PROBLÈMES DE COLLABORATION DANS LE DOMAINE DE LA CONSTRUCTION

Les projets de construction ont la particularité de faire intervenir un nombre d'acteurs important, provenant d'entreprises et de domaines divers. Leur collaboration temporaire permet d'atteindre leur objectif commun qui est la réalisation du projet. (Botton, 2013)

Dans leurs travaux de recherche, Xue et al (2007) identifient de multiples difficultés rencontrées découlant de la collaboration entre ces différentes équipes. Leurs résultats sont présentés dans la matrice suivante (voir tableau 1) :

Tableau 1 : Matrice des problèmes (d'après Xue et al, 2007)

	Maître d'ouvrage	Maître d'œuvre	Entreprise générale	Sous-traitant	Fournisseur
Maître d'ouvrage (MOA)	Problèmes internes	<i>Difficultés à atteindre les volontés du maître d'ouvrage</i> <b>Changements dans la volonté du maître d'ouvrage</b> <b>Procédures longues de changements</b>	<i>Problèmes de qualité non résolus</i> <i>Occupation différée en raison de retard d'achèvement</i>	Pas de relation directe	Pas de relation directe

<b>Maître d'œuvre (MO)</b>		Problèmes internes	<u>Documents incorrects</u> <b>Changement dans la conception</b> <b>Délai d'attente d'approbation de modification par l'architecte</b>	Pas de relation directe	Pas de relation directe
<b>Entreprise générale</b>			Problèmes internes	<i>Travail en sous-traitance non livré selon la conception, le contrat et le planning</i>	<u>Données inexactes</u> <u>Besoin d'information non rempli</u> <i>Négociation contradictoire</i> <i>Changement dans les commandes</i>
<b>Sous-traitant</b>				Problèmes internes	<i>Livraisons non conformes au planning</i> <i>Livraisons erronées ou défectueuses</i> Longue période de stockage <i>Mauvais emballage</i> Gros envois
<b>Fournisseur</b>					Problèmes internes

On observe que les problèmes soulevés précédant la phase d'exécution sont principalement attribués :

- à un **manque de qualité du travail** (éléments en italique dans le tableau 1)
- **aux changements de volonté des maîtres d'œuvre et d'ouvrage** (en gras)
- **au manque d'information** qu'elle soit inexistante ou erronée (soulignés)

Ces éléments viennent compléter la liste de freins au travail collaboratif soulevés au point précédent.

### II.1.6 LE TRAVAIL COLLABORATIF OUTILLÉ

Comme dans de nombreux autres domaines, la technologie devient incontournable en ce qui concerne le travail collaboratif. À l'origine, les technologies se sont développées pour dématérialiser l'information et manipuler plus aisément une quantité importante de données. Aujourd'hui, son utilisation ne se limite plus uniquement à la numérisation d'information, mais elle est également de plus en plus sollicitée pour la communication et la collaboration. Elle s'intéresse par conséquent aux relations entre les utilisateurs et non plus seulement aux messages partagés (Wolton, 2009). Outiller le travail collaboratif à l'aide d'outils numériques a complètement modifié l'organisation et les habitudes des entreprises et de leurs travailleurs (Silva et Ali, 2010).

C'est Engelbart, en 1968, qui réalise la première collaboration assistée par ordinateur au *Research Institute de Stanford* (Engelbart et English, 1968). Son système permettait de mettre en relation des personnes réparties sur différents sites à l'aide d'outils tels qu'un système de communication instantané ou encore la possibilité de partager son écran et son pointeur (Hamadache, 2011). Cela avait été rendu possible par la mise en place d'un réseau interne à l'organisation. L'évolution constante des technologies a, par la suite, permis le développement de plus en plus rapide d'outils pour améliorer le travail collaboratif outillé.

Ces outils permettant ce type de collaboration, et rendant possible à un ensemble de personnes de réaliser un projet commun sont appelés des **collecticiels** (en anglais : groupware (Johnson-Lenz, 1980)). Dieng (2001) apporte une définition claire aux collecticiels, qui rappelle notamment certaines notions abordées précédemment dans le domaine de la collaboration : « *une combinaison de technologies, de personnes et d'organisation qui facilite la communication et la coordination nécessaire à un groupe pour réaliser son travail de manière collective et efficace, atteindre un but partagé et assurer un gain pour chacun de ses membres* ».

Le champ de recherches *Computer Supported Cooperative Work* (CSCW - en français TCAO pour Travail Coopératif Assisté par Ordinateurs) étudie et organise, depuis 1984, des conférences concernant les interactions numériques effectuées par des individus

travaillant dans un collectif. Leur objectif est de renseigner les concepteurs de logiciels sur les attentes des utilisateurs. Les études de ce groupe de recherche sont tournées vers le domaine social, et non pas uniquement sur les outils informatiques (Arribe, 2014). Cet intérêt apporté, non pas uniquement aux logiciels mais également à tout ce qui les entoure, est en accord avec la notion de combinaison utilisée dans la définition de Dieng présentée ci-dessus.

Plusieurs aspects sont à considérer pour caractériser un collecticiel et ses utilisations (Lonchamp, 2003) :

- **L'espace et le temps** : Une distinction est réalisée selon la simultanéité et les lieux des interactions possibles. « *Le premier objectif des collecticiels est de proposer un support d'abolition des dimensions espace et temps* » (Tarpin-Bernard, 2000). Il est en effet possible que les collaborateurs soient regroupés au sein d'un même bureau ou dispersés géographiquement, mais aussi qu'ils travaillent ou non simultanément sur l'avancement du projet (synchrone/asynchrone). La matrice (voir tableau 2) de Johansen (1988) décrit les différentes possibilités et les illustre par un exemple appliqué aux collecticiels (Ben Dhiaf, 2011) :

**Tableau 2 : Matrice espace/temps d'après Ben Dhiaf, 2011)**

	<b>Synchrone</b>	<b>Asynchrone</b>
<b>Lieux identiques</b>	<u>Aide à la réunion :</u> Rétroprojection d'un écran PC	<u>Aide-mémoire électronique :</u> Partage de fichiers
<b>Lieux différents</b>	<u>Réunion virtuelle :</u> Vidéoconférence	<u>Coordination permanente :</u> Workflow

- **Les modes de coopération** (Tarpin-Bernard, 1996) : Il est également possible de différencier 4 modes de coopération des actions réalisables à l'aide du collecticiel.
  - La coopération asynchrone : Lorsque les acteurs du projet travaillent en autonomie à des moments non-définis et interagissent entre eux par partage de données.
  - La coopération en session : Lorsque les acteurs travaillent simultanément sur leurs données propres et restent à tout instant joignables par les autres acteurs du projet.

La coopération en réunion : Lorsque tous les acteurs travaillent de manière synchrone, communiquent instantanément et échangent leurs données du projet.

La coopération étroite : Lorsque le travail et les communications sont instantanés et que les interactions avec les éléments partagés du projet sont réalisables en temps réel chez chacun des acteurs. L'interaction est maximale dans un espace virtuel capable de simuler la réalité.

Le niveau de coopération d'un collecticiel est d'autant plus important lorsqu'il permet des interactions provenant des quatre modes existants et qu'il est possible de passer d'un mode à l'autre à tout moment selon les besoins du projet.

- **La flexibilité du système** : Cela caractérise la capacité de personnalisation du collecticiel par ses utilisateurs (Dewan, 1992). Le niveau de flexibilité peut être évalué selon les interactions, le partage des données, la possibilité de contrôler les accès,...

Le collecticiel se repose par conséquent sur 2 aspects principaux : son **adaptabilité** aux habitudes de travail et besoins des acteurs, mais aussi ses possibilités de **personnalisation**.

Levan (2016) propose, quant à lui, une typologie des outils de travail collaboratif qui caractérise les fonctionnalités principales et la destination de ceux-ci. Les outils sont répartis entre les catégories de mémoire, de routage et d'échange.

- Outils orientés **mémoire** : Outils dont la mission principale est le partage de **ressources** et des **connaissances** qui contribuent à enrichir la mémoire collective. L'accès à l'information pour les autres collaborateurs est ainsi plus aisé.

- Outils orientés **routage** : Ils permettent de faciliter les flux d'information puisqu'ils se concentrent sur l'organisation du travail dans le temps et simplifient la création de **workflow**. Les outils axés sur la gestion de projet permettent également la validation et le contrôle des informations partagées.

- Outils orientés **échange** : Outils permettant, à tout instant du travail collaboratif, des **interactions** entre acteurs impliqués dans une action commune.

Le modèle des 3C présenté précédemment et mettant en lien les notions de coopération, de communication et de coordination (voir figure 1) ne représente pas les notions de mémoire et de contrôle pourtant indissociables de la collaboration outillée. Le modèle est, par conséquent, adapté ci-dessous (voir figure 4) afin de coïncider avec les particularités des collecticiels (Fougères et Ospina, 2009). En plus des trois aspects présents dans le modèle d'Ellis et Wainer (coopération étant assimilable à coproduction), deux nouvelles branches complètent cet arbre des « 5 Co » :

- La **co-mémorisation** : qui constitue une base d'information pour le projet et permet de garder en mémoire les activités collectives.
- Le **contrôle de processus** : contrôle la qualité et l'enchaînement des différentes tâches.

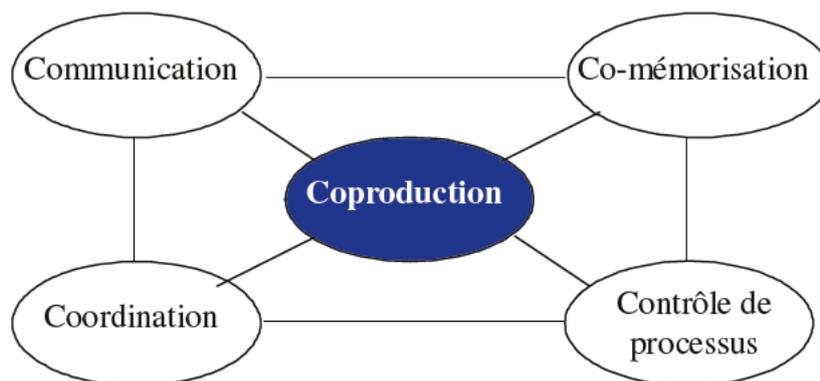


Figure 4 : Les 5 Co - Fonctions basiques d'un collecticiel (Fougères et Ospina, 2009)

#### II.1.6.1 APPORTS ET LIMITES DU TRAVAIL COLLABORATIF OUTILLÉ

La technologie apporte une multitude de nouvelles possibilités. Elle est développée selon les besoins des acteurs et avec pour objectif de les soulager dans la réalisation de tâches, aussi bien individuelles que collectives (Bobillier-Chaumon, 2016).

La flexibilité des collecticiels et les possibilités de modes de coopération qu'ils proposent ont transformé **les rythmes de travail**. Les collaborateurs peuvent désormais être maîtres de leur temps et de l'organisation de leur travail. La frontière entre travail et non-travail n'est plus automatiquement définie selon un horaire prédéfini mais selon les objectifs à

atteindre. La journée de travail se termine une fois que l'objectif du jour, défini selon les attentes du projet et ses jalons, est accompli (Durand, 2009).

Le travail en co-présence permet un échange d'information plus important que dans un espace entièrement virtuel, particulièrement pour les informations implicites, ce qui limite le développement de la conscience de groupe. Il devient alors plus laborieux d'évaluer les activités du reste du groupe, **son avancement** général et de se situer par rapport à celui-ci (Benali et al, 2002). Néanmoins, **la notion de jugement** sur l'avancement de chacun et la qualité de son travail est contradictoirement éminemment présente dans le groupe. Non seulement par les pairs mais également par la hiérarchie qui a, à tout moment, la possibilité de consulter le travail en cours et sa progression (Durand, 2009). Brown (2002) indique effectivement que l'utilisation des outils collaboratifs peut être perçue comme restreignante car rendant les actions trop transparentes.

Enfin, la virtualisation du travail et ses atouts ne sont actuellement pas unanimes et la transition numérique a encore du chemin devant elle avant que les outils qu'elle apporte ne soient utilisés pleinement. La modification des pratiques est lente, et pour qu'elle puisse aboutir à un changement complet des habitudes des acteurs, ceux-ci doivent être conscients entre autres des atouts et de l'allègement cognitif qu'elle pourrait apporter à leur environnement de travail (Bobillier-Chaumont, 2016). **La vision** des acteurs et également celle de l'entreprise sur l'utilisation de nouveaux outils est un facteur important de son développement au sein de l'entreprise et dépend de **sa capacité** et de **sa volonté** à aligner sa stratégie digitale aux technologies disponibles (Karoui et Dudezert, 2016).

## II.2 SYSTÈME D'INFORMATION DE PROJETS BIM

Le second thème abordé de cet état de l'art est la structuration numérique des projets BIM. La définition du BIM sera explorée dans un premier temps, puis dans un second temps, toute l'organisation qui englobe ces projets le sera également.

### II.2.1 L'APPROCHE ET LE DÉVELOPPEMENT DU BIM

Le **Building Information Modeling** (modélisation des informations du bâtiment), plus couramment appelé BIM, découle naturellement du développement des nouvelles technologies et déclenche une véritable révolution numérique pour le secteur de la construction (Eastman et al., 2011). L'approche du BIM repose sur la création, l'évolution et l'utilisation continue d'un ou plusieurs modèles 3D pluridisciplinaire du bâtiment pour améliorer et documenter sa conception (Boton et Forgues, 2018). En comparaison aux logiciels de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) traditionnellement utilisés, cette approche permet notamment des connexions plus évidentes entre les disciplines.

Ainsi, le terme Modeling ne permet pas à lui seul de décrire ce que représente le BIM, et les anagrammes BIM tels Building Information **Model** mais également Building Information **Management** permettent de compléter sa définition en insistant sur ces aspects supplémentaires.

L'Union européenne tente de propulser son adoption au sein des entreprises afin d'obtenir une augmentation de productivité significative parmi celles-ci. Aujourd'hui, le BIM fait l'objet d'une standardisation internationale au travers de la publication de l'ISO 19650 . Déjà particulièrement développé dans certains pays tels que la Grande-Bretagne, les Pays-Bas ou encore les pays scandinaves depuis le début des années 2010, la Belgique est actuellement dans une phase de transition importante (Conseil des Architectes d'Europe, 2017). Les premières initiatives de déploiement du BIM en Belgique sont lancées à partir de 2015 et sont portées principalement par le CSTC (Centre Scientifique de Technique et de la Construction) à travers le *Comité Technique BIM&ICT* constitué spécifiquement à cet effet. La mise en ligne d'un portail<sup>1</sup> recensant une variété d'informations relatives au BIM et accessible à tous est l'un des aboutissements de ce comité et permet sa propagation dans les habitudes. Cependant, le choix de l'utilisation du BIM dans les projets de construction

---

<sup>1</sup> BIM Portal accessible depuis l'URL : <https://www.bimportal.be/fr/>

reste encore facultatif en Belgique puisqu'il n'existe aucune législation à ce sujet pour les marchés publics.

Dans le cas où un projet recourt au BIM, il est préférable que celui-ci soit intégré dans le projet le plus tôt possible où cela bouleverse les organisations de projets traditionnels (Hoscheid, 2022). Le diagramme ci-dessous (voir figure 5) illustre l'importance de la mise en place des processus BIM aux balbutiements du projet, lorsque le budget est encore ajustable et que les modifications du projet engendrent moins de coûts (Mac-Leamy, 2010).

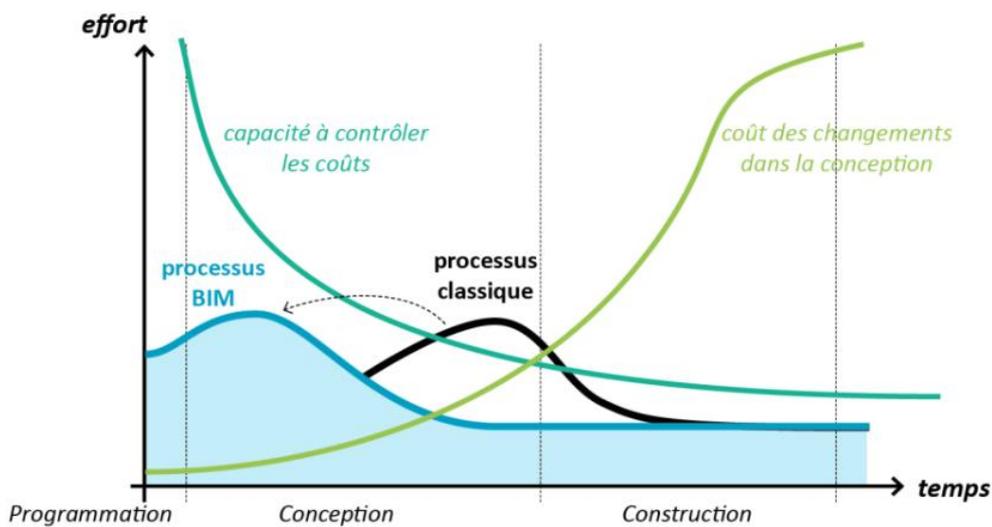


Figure 5 : Diagramme temporel de projet (Mac-Leamy, 2010)

Le BIM est également utile dès le début des projets et tout au long de leur vie car il permet notamment des utilisations très variées. La figure ci-dessous présente les différentes possibilités d'utilisation d'un modèle BIM (voir figure 6) (BIMe Initiative, 2015).

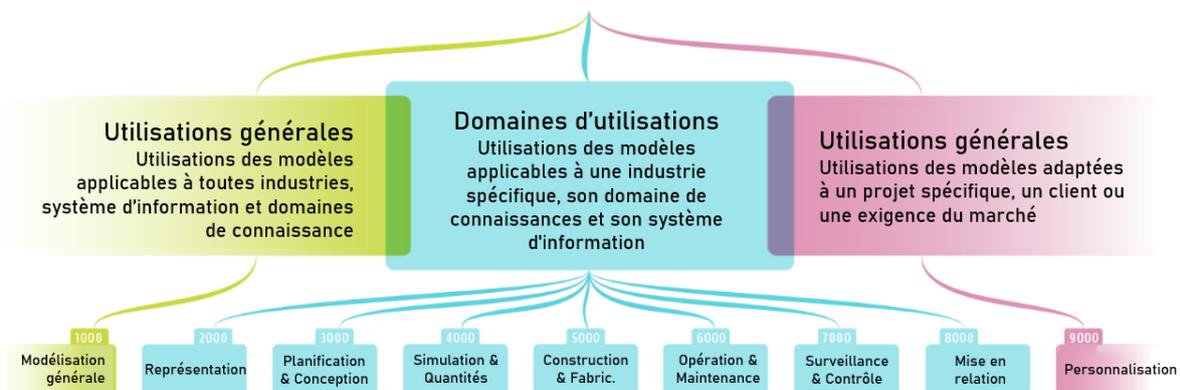


Figure 6 : Utilisation des modèles (traduit de BIMe Initiative, 2015)

Messner et al (2019) illustrent quant à eux ces principaux usages en fonction de la phase de projet (voir figure 7).

PROGRAMMATION	CONCEPTION	EXECUTION	MAINTENANCE
Modélisation de l'existant			
Estimation des coûts			
Planification des phases			
Programmation			
Analyse de site			
	Révision de la conception		
	Conception		
	Analyse énergétique		
	Analyse structurelle		
	Analyse mécanique		
	Autres analyses énerg.		
	Analyse environnementale		
	Validation des codes		
	Coordination 3D		
	Planification chantier		
	Design syst. constructif		
	Fabrication numérique		
	Contrôle et planning 3D		
	Modèle As-Built		
	Maintenance		
	Analyse de performances		
	Gestion d'actifs		
	Gestion des espaces		
	Plan d'urgence		

Figure 7 : Usages du BIM selon les phases projet (traduit d'après Messner et al, 2019)

Lors de l'exécution du projet et de sa préparation, phase à laquelle s'intéresse ce travail, les utilisations principales listées désignent :

- La coordination 3D (la détection de superposition d'éléments de construction)
- La planification du chantier
- Le contrôle des modèles 3D et leur planification

## II.2.2 LES ACTEURS DES PROJETS BIM

Afin de mettre en place et d'avoir un suivi de l'utilisation du BIM durant la vie du projet, les agences d'architecture et les entreprises de construction peuvent s'équiper de personnel dédié au BIM. Évidemment, plus une entreprise et ses projets sont importants, plus celle-ci en aura l'opportunité et pourra se le permettre. Les plus petites équipes ne possèdent ainsi

pas forcément de personne ayant la profession de BIM manager ou de BIM coordinateur à l'instar de plus grandes entreprises. Néanmoins, il n'est pas rare que certaines personnes possèdent, en plus de leur mission principale au sein de l'équipe, les connaissances nécessaires pour occasionnellement tenir un rôle lié au BIM dans le projet (de Boissieu, 2020).

Ce travail s'intéresse à des projets ayant recours à des pratiques BIM développées et qui nécessitent la présence de personnes exclusivement dédiées à leur fonctionnement. Ces personnes mettront en place et détailleront les pratiques à appliquer par l'ensemble des intervenants du projet.

### II.2.3 PROTOCOLE ET PLAN D'EXÉCUTION BIM (BEP)

Le **Protocole BIM** est le document de référence proposé par le CSTC<sup>2</sup> dans lequel l'ensemble des conventions et des attentes en termes de BIM sont décrites. Utilisé par l'ensemble des intervenants, ayant chacun une formation et des compétences différentes, ce document est rédigé avec une grande précision afin de limiter au maximum les interprétations. Cet outil définit notamment la distribution des responsabilités entre les différents acteurs en associant chaque type d'information à une personne.

Dans le cadre du protocole BIM belge proposé par le CSTC, le protocole BIM est accompagné du **Plan d'Exécution BIM** (habituellement simplifié BEP d'après son anagramme anglophone) qui traduit les attentes du protocole en actions concrètes et détaillées ainsi que les interactions entre les acteurs du projet. Il est possible de retranscrire le protocole et le plan d'exécution BIM schématiquement sous forme d'un workflow (processus) en y intégrant les différents modèles BIM, documents, acteurs ou encore réunions prévues.

Ces documents représentent ce qui peut être qualifié de **structure** du projet BIM, c'est-à-dire un ensemble de procédures définies par des règles. Bien qu'elle puisse être modifiée et évoluer avec l'avancement du projet, cette structure sera toujours limitée à des interactions purement formelles et ne pourra pas représenter le véritable déroulement du projet (Levan,

---

<sup>2</sup> Les protocole et plan d'exécution BIM rédigés par le CSTC, sont consultables et téléchargeable depuis BIM Portal : <https://www.bimportal.be/fr/projets/ct/publications-resultats/protocole-bim-belge/>

2013). Les interactions telles que des négociations ou des arrangements entre les acteurs ne sont pas prévisibles et ne peuvent pas être décrites dans la structure. Il s'agit dans ce cas de l'**organisation** qui découle de la structure établie. L'organisation peut être assimilée à l'agir organisationnel (Levan, 2016), autrement dit aux agissements et décisions des acteurs qui permettent d'atteindre un objectif, un résultat. Dans le contexte de projets, ce résultat est la modélisation qualitative de modèle BIM afin de pouvoir l'exploiter selon les objectifs propres du projet.

#### II.2.4 MAQUETTE NUMÉRIQUE BIM

La généralisation de l'utilisation de maquettes est associée aux architectes italiens de la Renaissance. Le terme de modèle est alors utilisé pour qualifier l'objet réduit d'un bâtiment avant sa construction (Rey 1998). Le modèle avait pour fonction principale la représentation de l'expression architecturale du bâtiment.

Les modèles numériques que nous connaissons aujourd'hui permettent toujours de représenter le bâtiment et ont naturellement hérité du terme. Qu'il s'agisse des objets physiques ou numériques, ceux-ci sont, par conséquent, tous deux appelés modèles, ou encore maquettes. Étant donné le sujet de ce travail, ces termes se référeront uniquement aux éléments de type numérique BIM en trois dimensions.

Les maquettes BIM possèdent néanmoins des objectifs plus variés qu'uniquement la représentation géométrique des éléments. Parmi ces objectifs, nous pouvons citer en exemples ceux de l'optimisation en termes d'ingénierie ou encore de la prédiction du comportement du bâtiment, notamment en ayant recours à des simulations thermiques (A. Catros, 2020). Les éléments présents dans la maquette BIM doivent également être dotés d'attributs et contenir une série d'informations caractérisant ces éléments.

**La maturité de la collaboration**, définie dans l'ISO 19650, caractérise le niveau de collaboration mis en place dans le projet où l'incrémentaire du niveau de maturité indique une augmentation de la collaboration. Le niveau 0 caractérise, par conséquent, une collaboration faible basée sur l'utilisation de la CAO 2D. Le niveau de maturité 3, quant à lui, est décrit comme l'aboutissement du BIM où la collaboration serait maximale,

permettant à chaque acteur d'accéder à l'ensemble des informations du projet sur un serveur unique.

Dans le cas d'une maturité de niveau 2, chaque acteur produit une maquette numérique propre à son métier et l'ensemble des **maquettes métiers** sont ensuite associées en un **modèle fédéré**. La terminologie varie cependant d'une référence à l'autre. C'est pourquoi, il est parfois cité dans la littérature que des **modèles métiers** sont regroupés en une **maquette fédérée**. Cependant, cela n'influence en rien le contenu de ces éléments, les termes sont tout à fait interchangeables.

L'illustration suivante (voir figure 8), représente le processus type de fédération d'un modèle, dans ce cas de niveau de maturité 2. Les éléments et leurs informations sont implémentés dans des maquettes distinctes puis assemblés dans un modèle fédéré. C'est ensuite ce modèle assemblé qui est souvent partagé à l'ensemble des équipes tel l'élément de référence pour la suite de la collaboration et l'extraction des données.

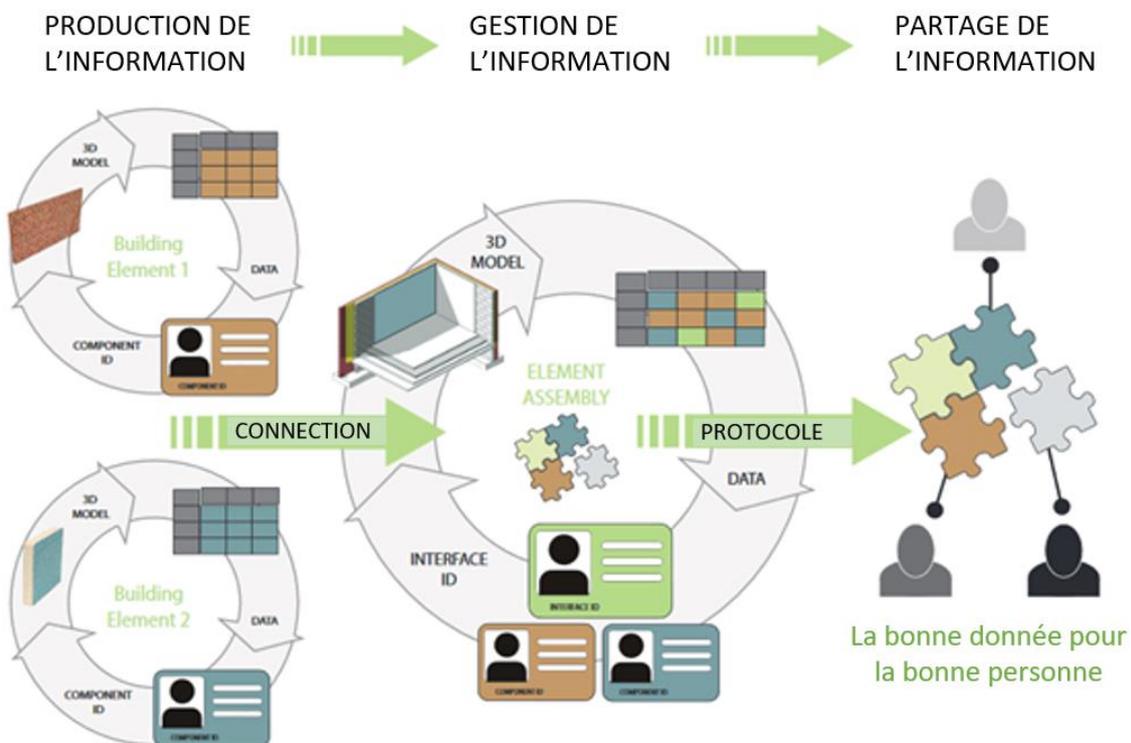


Figure 8 : Création et utilisation du modèle fédéré (traduit d'après ADEB-VBA, 2015)

## II.2.5 ENVIRONNEMENT COMMUN DE DONNÉES (CDE)

La norme internationale ISO 19650, qui a pour objectif de fournir des recommandations pour la gestion de l'information des projets de construction, définit un **Environnement Commun de Données** comme étant « *une source convenue d'informations sur un projet ou un actif donné, utilisée pour collecter, gérer et diffuser chaque conteneur d'information par le biais d'un processus géré* ».

La centralisation des données en opposition à l'échange de fichiers entre particuliers, telle que schématisée sur la figure 9 ci-dessous, est recommandée puisque réduit le risque de redondance des informations et garantit l'accès à leur dernière version (Preider et al., 2018). Rassembler les informations simplifie les interactions numériques et donc assure une augmentation de l'efficacité.

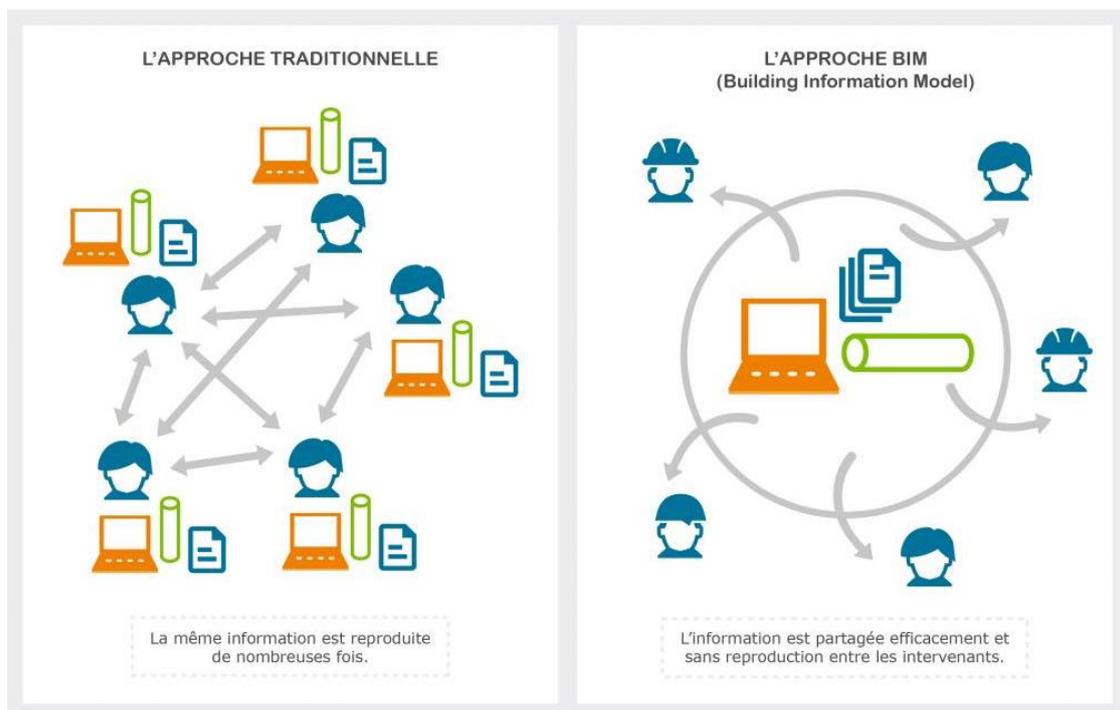


Figure 9 : Centralisation des données (Guide du bâtiment durable, 2018)

Les informations partagées dans cet environnement doivent répondre aux exigences d'information définie dans le protocole BIM. Un système de vérification et validation de l'information doit être mis en place afin d'assurer la fiabilité des ressources partagées (ISO 19650-1, p16). Le mode de livraison, le moment de la livraison ou encore son contenu doivent être conformes aux attentes sans quoi l'information ne pourra être acceptée et devra être révisée (voir figure 10). La norme recommande également la mise en place d'une

matrice des responsabilités définissant les personnes de référence pour chaque partage d'information.

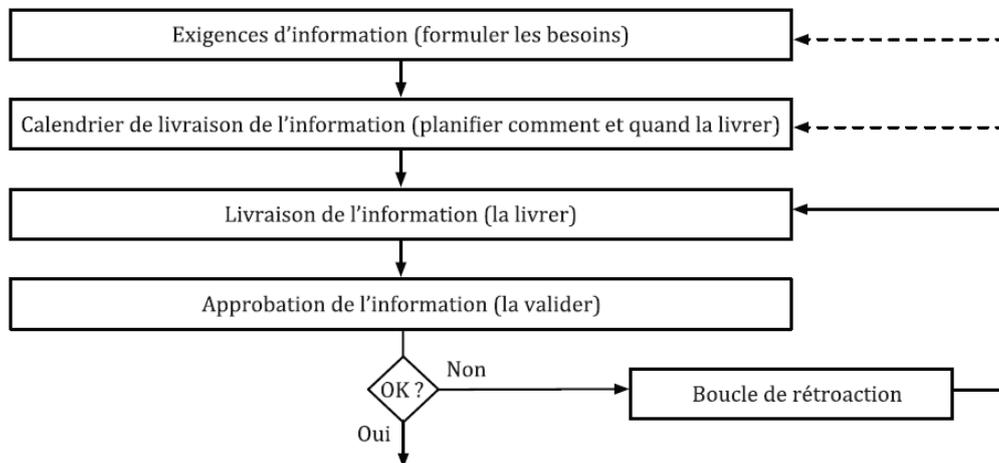


Figure 10 : Étapes théoriques de validation de l'information (ISO 19650-1 p14)

#### II.2.5.1 STRUCTURATION DES INFORMATIONS

Une mauvaise structuration des données dans les projets de construction est l'une des principales causes des retards (Senthilvel et al., 2020). Afin de limiter les erreurs, la **classification** mais également la **caractérisation des informations** est particulièrement importante.

Les caractérisations varient selon le niveau de révision. Les états de révisions sont les suivants (ISO 19650 voir figure 11):

- Travail en cours (**Work in Progress - WIP**) : Les informations sont en cours de développement. Afin d'éviter que d'autres acteurs aient recours à ces informations non-finalisées et donc non-utilisables, l'accès à ces ressources est limité aux équipes de travail concernées.
- Partagé (**Shared**) : Une fois contrôlée, l'information est partagée et accessible à l'ensemble des acteurs qui en ont l'utilité. L'usage de ces informations se limite pour les collaborateurs à la lecture des informations et non leur modification.

- Publié (**Published**) : Lorsqu'une ressource est qualifiée de publiée, cela signifie que son exploitation a été autorisée. Elle est vouée à ne plus évoluer et les informations qu'elle contient sont fiables.
- Archivé : Cette dernière catégorie regroupe les versions intermédiaires de ressources et assure la conservation et la traçabilité d'informations anciennement partagées ou publiées qui ont permis l'avancée du projet.

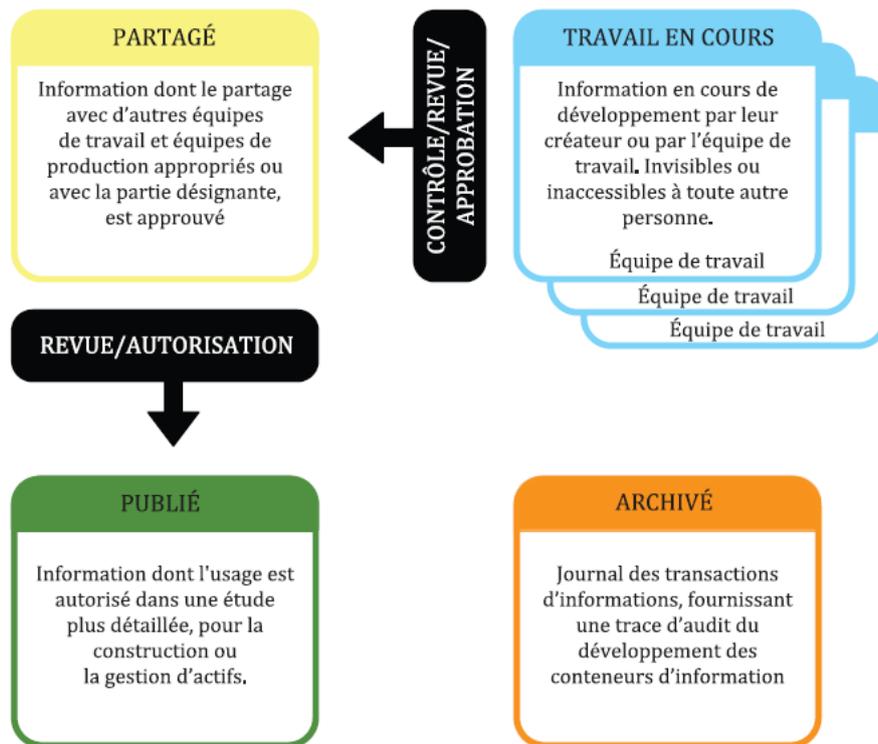


Figure 11 : Flux de travaux dans un CDE (ISO 19650-1 p27)

Bien que cela permet de classer les informations selon leur degré de fiabilité, certaines entreprises ont recours à d'autres sous-catégories supplémentaires afin de mieux organiser les données au sein de leur environnement commun de données. Cette organisation, plus complexe, est unique à chaque équipe de travail et varie selon les demandes du projet et de l'entreprise. Une grande entreprise aura recours à un nombre plus conséquent de sous-catégories, en comparaison à de petites entreprises qui pourront se satisfaire d'une organisation simplifiée (Beach et al., 2017).

Il revient aux équipes BIM de structurer le CDE selon leurs propres attentes et besoins. Cette structure doit cependant être explicitée clairement dans le plan d'exécution BIM de manière à ce que chaque acteur connaisse la destination de chaque plateforme composant le CDE et sache exactement où accéder aux informations qui lui sont nécessaires (d'après les templates de protocole et BEP fournis par le CSTC).

Chaque plateforme CDE possède ses fonctionnalités et ses limites qui lui sont propres. Il peut par conséquent être difficile de trouver celle qui puisse répondre à l'ensemble des attentes de l'équipe. Il est donc parfois nécessaire, par choix ou par contrainte, d'avoir recours à plusieurs plateformes pour former le CDE d'un projet. Les CDE les plus couramment utilisés sont par exemple *Trimble Connect*<sup>3</sup>, *Autodesk BIM 360*<sup>4</sup>, *Bentley Projectwise*<sup>5</sup>, *Procore*<sup>6</sup>, ou encore *AllPlan Bimplus*<sup>7</sup>, accessibles via les notes de pages pour plus d'informations à leur sujet.

#### II.2.5.2 INTEROPÉRABILITÉ

Les logiciels permettant la modélisation BIM sont variés et disposent, pour certains, de leur propre format de fichier. L'interopérabilité, étant pour Ferries et de Boissieu « *la capacité d'un système ou d'un produit à travailler avec d'autres systèmes ou produits sans un effort particulier de la part de l'utilisateur* » (Ferries et de Boissieu, 2018), peut par conséquent, être limitée lorsqu'un format de fichier n'est pas directement exploitable dans un autre logiciel du projet. Il est toutefois possible d'importer des données depuis la plupart des logiciels BIM et d'exporter le modèle sous format **IFC** (Industrial Foundation Classes), format étant lisible par l'ensemble des logiciels. Son utilisation est cependant ralentie puisqu'un IFC est un fichier figé, qu'il est possible de visualiser dans son intégralité mais qui ne peut être modifié (Marin et Cuba Segura, 2014). Tout objet paramétrique est donc comme gelé dans son état lors de l'exportation et perd son intérêt d'adaptabilité. Des erreurs lors de l'exportation sont également possibles, les logiciels ayant chacun leurs propres

---

<sup>3</sup> <https://connect.trimble.com/>

<sup>4</sup> <https://www.autodesk.com/bim-360/>

<sup>5</sup> <https://www.bentley.com/en/products/brands/projectwise>

<sup>6</sup> <https://www.procore.com/en-gb>

<sup>7</sup> <https://www.allplan.com/products/allplan-bimplus/>

caractéristiques. BuildingSMART<sup>8</sup>, une organisation internationale spécialisée dans l'amélioration d'échange d'information entre logiciels de la construction, propose un système de certification des logiciels afin d'assurer aux utilisateurs la fiabilité des moteurs d'export IFC implémentés.

Une autre limite de ce type d'export est la possible perte d'information. En cas de mauvaise implémentation des attributs d'objets au moment de la configuration de l'export, ceux-ci ne pourront être correctement convertis en information IFC.

Les logiciels doivent par conséquent être choisis en connaissance des compatibilités, et non en termes d'interopérabilité.

Les logiciels sont variés ; les plug-ins disponibles pour chacun d'entre eux le sont tout autant. Cela complique ainsi également leur choix, puisqu'il faut alors parfois s'assurer de leur disponibilité sur un ensemble de logiciels, mais aussi sur l'ensemble des versions des logiciels utilisés dans le projet (Bourguig et Boutros, 2018).

### *II.2.5.3 NOUVELLE APPROCHE DES CDE*

Tout comme le démontre la figure suivante (voir figure 12), les normes ISO 19650 concernent les projets de maturité de collaboration de niveau 2, mais aucune norme n'est actuellement encore définie pour le niveau supérieur. Les CDE décrits dans les sections précédentes correspondent par conséquent à des environnements de niveau 2.

---

<sup>8</sup> Le portail officiel international de BuildingSMART est accessible via ce lien pour plus d'informations : <https://technical.buildingsmart.org/>

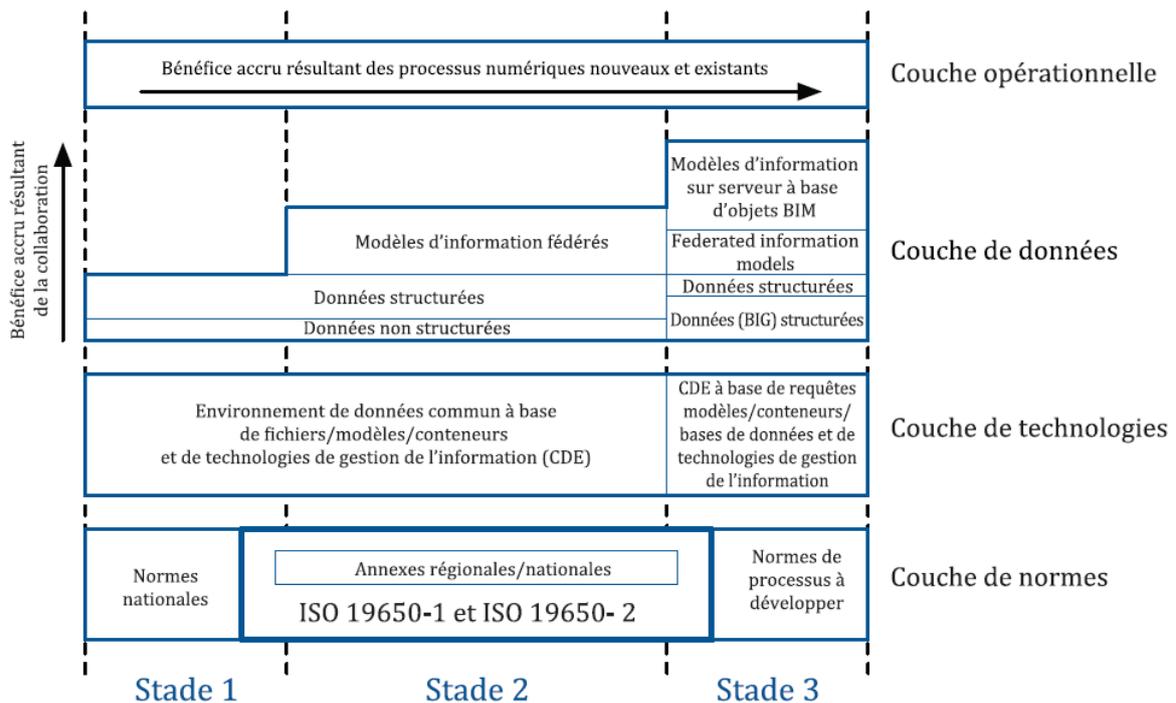


Figure 12 : Perspective des stades de maturité de collaboration BIM (ISO 19650)

La figure 12 indique également que le bénéfice de la collaboration dépend de l'organisation des données au sein de l'environnement. De nouveaux outils tentent alors de sortir des contraintes des CDE actuels et de se rapprocher du niveau supérieur.

Cette transition émergente au niveau de la couche des données est en adéquation avec la théorie de Pendergast et Hayne, émise en 1999, qui présente les différentes ères de l'information, et particulièrement le passage de l'ère actuelle en réseau à celle du contenu (voir figure 13).

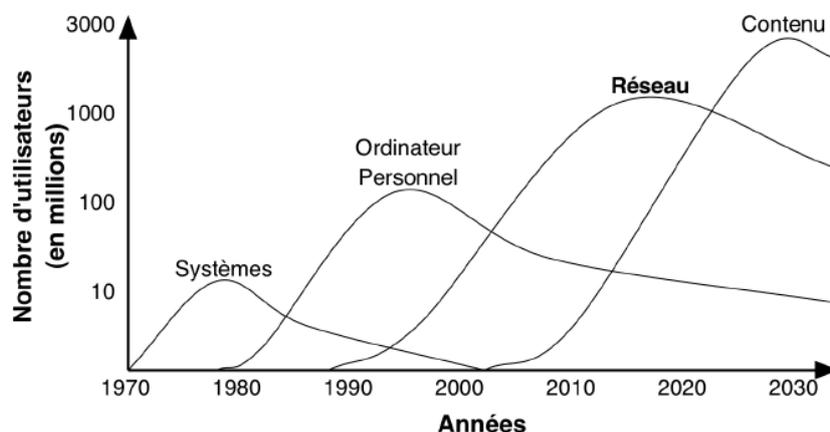


Figure 13 : L'ère de l'information (Pendergast et Hayne, 1999)

Parmi les nouveaux outils émergents, *Speckle*<sup>9</sup>, un outil complètement open-source initié en 2016 à l'UCL par Dimitrie Stefanescu est adopté par de plus en plus d'entreprises AEC (Architecture Engineering Construction) modernes. Ce qui différencie *Speckle* des autres technologies traditionnelles du marché est que ce CDE ne se base pas sur l'hébergement de fichiers mais sur l'échange d'objets JavaScript (JSON). Pour cela, l'outil permet de lier dynamiquement les objets directement depuis les logiciels de modélisation (BIM ou non). De nombreux logiciels sont pris en charge automatiquement, mais *Speckle* étant open-source, tout autre logiciel peut être lié à la plateforme, pour autant qu'il dispose d'une terminaison API (Poinet et al., 2020).

*Speckle* permet également de définir des paramètres de confidentialité et de sécurité pour les différentes parties prenantes. Les objets peuvent quant à eux être accompagnés d'une description, d'un commentaire ou encore d'une requête suivant les besoins du projet. Enfin, le contrôle de versions d'objets permet de retracer leurs modifications.

---

<sup>9</sup> Le portail de la plateforme est accessible via : <https://speckle.systems/>

## II.3 SYNTHÈSE DE L'ÉTAT DE L'ART ET QUESTION DE RECHERCHE

L'ensemble des recherches effectuées permettent désormais de mieux comprendre les enjeux liés à la collaboration dans le domaine de la construction. Cette notion vague qu'est la collaboration est pour rappel une combinaison de communication, de coordination et de coopération où chacun de ces aspects est essentiel et indissociable des autres. Le projet collaboratif se base sur la distribution des tâches tout en maintenant une liaison et un suivi d'ensemble grâce à des rencontres ponctuelles telles que des réunions de coordination. Ainsi, la collaboration est définie dans ce projet telle que :

### **Collaboration :**

Combinaisons d'actions individuelles réalisées afin d'atteindre un objectif commun à l'ensemble des acteurs.

Les technologies, autour desquelles les projets actuels s'organisent, permettent d'assister la gestion de la collaboration. L'implication de toutes les parties prenantes participant au projet dans leur mise en place est cependant nécessaire pour en tirer bénéfice et développer l'intelligence collaborative attendue.

Ces technologies utilisées sont appelées des **collecticiels**, et malgré le fait que celles-ci soient numériques, le collecticiel a pour objectif de mettre en liaison des personnes bien réelles et ce, de la manière la plus organisée et structurée possible. L'ensemble des collecticiels d'un projet est représenté sous la notion **CDE**, qui constitue le nœud central de gestion de l'information en permettant le stockage, l'édition et le partage des informations selon un ou plusieurs processus établis. Néanmoins, cette notion de CDE est enfermée dans les normes qui les définissent et est régulièrement uniquement associée à la plateforme d'échange. C'est pourquoi le terme de **système d'information**, proposé par Levan (2016) est préféré dans ce travail. Ce terme regroupe l'ensemble des documents, modèles, fichiers, mais également la technologie, par exemple les logiciels ou le matériel informatique utilisé, et les outils de communication et plates-formes de collaboration. La définition du système pour ainsi être formulée :

### **Systeme d'information :**

Elément central d'un projet permettant aux différents acteurs de partager des informations, de communiquer et de collaborer à l'aide de ressources matérielles, logicielles et humaines.

La collaboration en entreprise de construction est, de par la présence grandissante d'outils numériques, inévitablement liée à ceux-ci. Les systèmes d'organisation mis en place dans ces entreprises semblent par conséquent être au centre des enjeux collaboratifs. L'étude de systèmes d'information de projets permettrait d'évaluer leur importance et leurs conséquences sur le niveau de la collaboration. La question de recherche peut alors être formulée comme suit :

### **Question de recherche :**

Quels sont les impacts de l'organisation des systèmes d'information sur la collaboration, en particulier dans le cadre de la préparation de chantier en phase d'exécution pour l'entreprise de construction ?

La recherche bibliographique a permis de mettre en avant des classifications, notamment en ce qui concerne les outils numériques ou encore l'organisation des équipes, qui pourraient s'appliquer aux systèmes d'information étudiés et ainsi permettre de les caractériser. L'analyse de systèmes d'information peut ainsi être réalisée en se basant sur des critères définis. La collaboration, en revanche, est une notion bien plus vaste qui est difficilement descriptible de manière objective. Toutefois, les problèmes de collaboration perçus par les acteurs sont quant à eux plus facilement identifiables et exploitables dans le cadre d'une recherche.

Afin de proposer des réponses à la question de recherche, ce travail se basera sur différents cas d'étude et tentera d'identifier pour chacun d'entre eux, s'il en existe, des liens de cause à effet entre les problèmes de collaboration rencontrés par les acteurs et le système d'information mis en place. La section suivante décrit et justifie la méthodologie suivie pour réaliser cette étude.

# III. MÉTHODOLOGIE

## III.1 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

L'objectif de cette recherche est d'interroger les pratiques contemporaines en évolution rapide du BIM dans les entreprises de construction. L'approche choisie est basée sur l'enquête, permettant d'analyser des cas réels. Cette recherche s'intéresse en particulier aux systèmes d'information déployés dans les cas analysés pour en comprendre les enjeux et les impacts que ceux-ci peuvent avoir au sein de l'équipe projet. Trois projets ont été identifiés pour faire l'objet de cette étude.

Les sections suivantes détaillent les réflexions portées sur les méthodes d'enquêtes choisies et sur leur mise en place.

### III.1.1 MÉTHODES D'ENQUÊTES

Dans le cadre de ce travail, deux types de méthode de recherche qualitative sont exploités pour la récolte de données. Il a été décidé d'avoir recours à différentes méthodes de collectes de données afin de récolter des informations de natures complémentaires.

1. L'analyse d'artéfacts (détaillée dans la section III.5.1)
2. Des entretiens individuels semi-directifs (détaillés dans la section III.5.2)

D'une part, l'analyse d'artéfacts, c'est-à-dire la consultation des documents du projet, mais aussi l'exploration des plateformes permettent de comprendre l'organisation du système d'information et de se faire une idée de sa clarté et de sa facilité de compréhension. La lecture des protocoles et plans d'exécution BIM représente un aspect non-négligeable de cette partie du travail, étant donné la quantité importante de données concernant les systèmes d'information théoriquement présente dans ces documents.

D'autre part, les entretiens semi-directifs ont pour objectifs, non seulement d'apporter des précisions sur le système d'information mis en place, mais aussi et surtout de récolter l'avis de personnes impliquées dans le projet. Les questions posées sont rédigées de manière à

ce que les personnes interviewées décrivent, entre autres, les problèmes rencontrés lors du projet et également les aspects positifs et négatifs de son organisation. Les entretiens sont réalisés sur base d'une grille d'analyse réalisée préalablement (présentée dans la section suivant : III.2).

Cependant, ce type de méthode de recherche a pour inconvénient le risque de la subjectivité, particulièrement de manière inconsciente (Kohn et Christiaens, 2014). Il est par conséquent nécessaire d'être attentif, aussi bien lors de la récolte de données que lors de l'analyse de celles-ci, étant donné la part importante d'interprétation nécessaire pour traiter les informations.

Le schéma ci-dessous (voir figure 14) illustre le déroulement de la recherche :

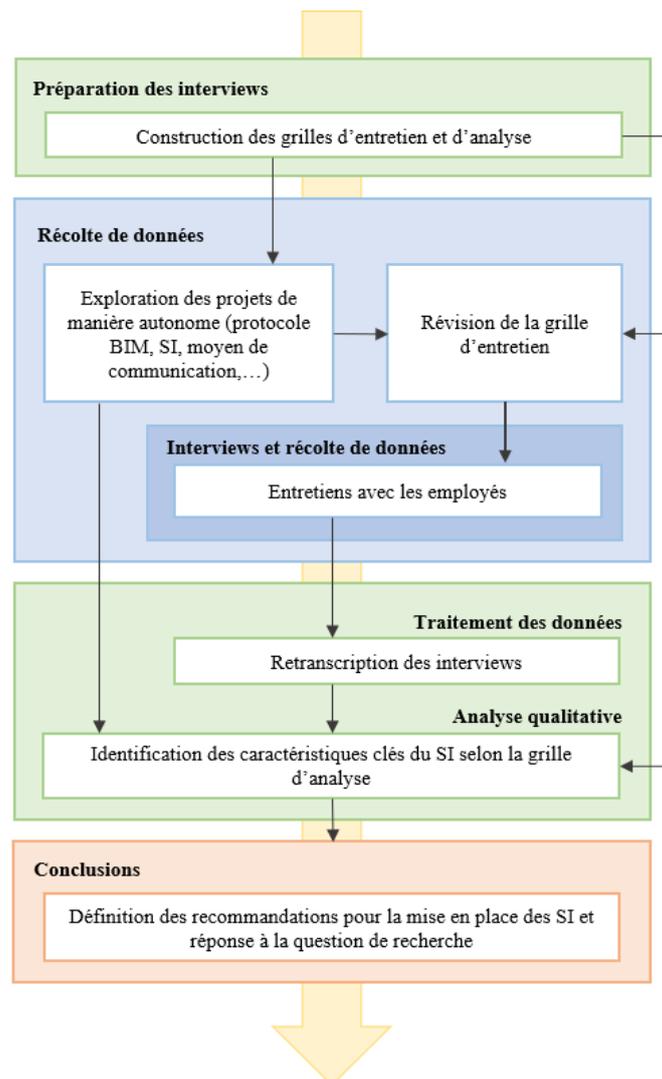


Figure 14 : Schématisation chronologique de la méthodologie

Une fois la nature des données à collecter et leur méthode de collecte définies, il a été possible de restreindre et de préciser le type d'entreprise permettant de récolter de telles données.

## **III.2 CHOIX DE L'ENTREPRISE ET DES PROJETS**

### **III.2.1 CRITÈRES DE SÉLECTION**

Tout d'abord, dans le but de centraliser la collecte de données et de limiter les démarches administratives, le choix d'analyser plusieurs projets d'une même entreprise de construction a été réalisé. De plus, cela assure que les données accessibles soient identiques pour chacun des projets étudiés.

Les critères concernant le choix de l'entreprise sont les suivants :

- Utilisation régulière du BIM dans les projets et aisance avec sa gestion.
- Attribution de rôles BIM définis dans les projets.
- Réalisation simultanée de minimum trois projets BIM avec des équipes différentes.
- Localisation de l'entreprise en Belgique afin de pouvoir s'y rendre.

### **III.2.2 CHOIX DE L'ENTREPRISE**

L'entreprise BESIX, correspondant aux attentes définies ci-dessus, a ainsi été sélectionnée pour la récolte des données.

BESIX Group est une entreprise de construction belge, réalisant de nombreux projets d'envergure aussi bien en Belgique qu'à l'internationale. Depuis 2010, plus de 25 projets ont entièrement été réalisés en BIM. Pour permettre cela, l'entreprise emploie, en 2021, 48 personnes pour son département BIM (11 BIM Managers, 10 BIM Coordinateurs et 27 modeleurs) et continue de recruter pour étendre encore plus cette équipe.

Les rôles BIM présents et leur développement au sein d'une organisation étant un indice de l'intégration des pratiques BIM dans l'entreprise (de Boissieu, 2020), le choix de l'entreprise étudiée dans le cadre de cette étude de cas est ainsi appuyé par leur maturité en termes de BIM.

### III.2.3 CHOIX DES PROJETS

Une première rencontre avec le responsable du département, informé de l'ensemble des projets en cours et de leur fonctionnement, a permis de sélectionner trois projets actuellement en construction et fonctionnant très différemment. L'ensemble des projets étant réalisé par la même entreprise, il était tout de même important de sélectionner des projets divergents, non dirigés par les mêmes équipes afin de s'assurer d'avoir une diversité dans l'organisation des projets. Les projets choisis sont par conséquent dirigés par différentes personnes, d'envergures différentes et réalisés soit en Belgique, soit à l'étranger, de manière à récolter des données plus variées et donc plus riches.

Les projets étudiés sont les suivants (voir tableau 3) :

Tableau 3 : Projets étudiés dans le cadre de l'analyse de cas

PROJET	LIEU	DESCRIPTION
Projet 1	Afrique de l'Ouest	Tour administrative
Projet 2	Flandre, Belgique	Bureaux
Projet 3	Bruxelles, Belgique	Bureaux

### III.3 GRILLE D'ANALYSE

La mise en place d'une grille d'analyse a permis de trier efficacement la quantité importante de données récoltées. Une dizaine d'aspects permettant de présenter efficacement les systèmes d'information mis en place a été défini à cet effet :

- 1. Réflexion générale lors de la mise en place du système d'information**
- 2. Gestion des modèles BIM**
- 3. Gestion des documents du projet**
- 4. Gestion des problèmes (issues/clash)**
- 5. Système de validation mis en place**
- 6. Workflow général de la gestion des modèles**
- 7. Hiérarchie des accès**
- 8. Communication**
- 9. Maturité BIM du projet et des collaborateurs**
- 10. Clarté et facilité d'usage du système d'information**

Chacun de ces aspects est détaillé pour chaque projet selon ses caractéristiques propres. De cette manière, les systèmes d'information sont clairement définis et il est possible d'avoir une vision et une compréhension d'ensemble pour chacun d'entre eux. La combinaison d'analyses d'artéfacts ainsi que d'entretiens assure à la fois une récolte de données permettant une description factuelle du système d'information, mais également une perception du déroulement réel du projet et de son niveau de collaboration.

Une fois le traitement des données réalisé, les éléments permettant la caractérisation ou la classification des outils et de leurs utilisations présentées dans la recherche bibliographique sont ensuite appliqués aux différents cas d'étude. Les principes théoriques suivants liés au travail collaboratif sont appliqués pour chaque projet et permettront par la suite d'évaluer l'impact des systèmes d'information sur la collaboration du projet:

- Les modes de co-conception et de conception distribuée (voir II.1.3)
- Les « 5 Co »
- Les caractéristiques des collecticiels (voir II.1.5) : la matrice espace/temps, les modes de coopération possibles et leur flexibilité.
- Les freins au travail collaboratif (voir II.1.4)

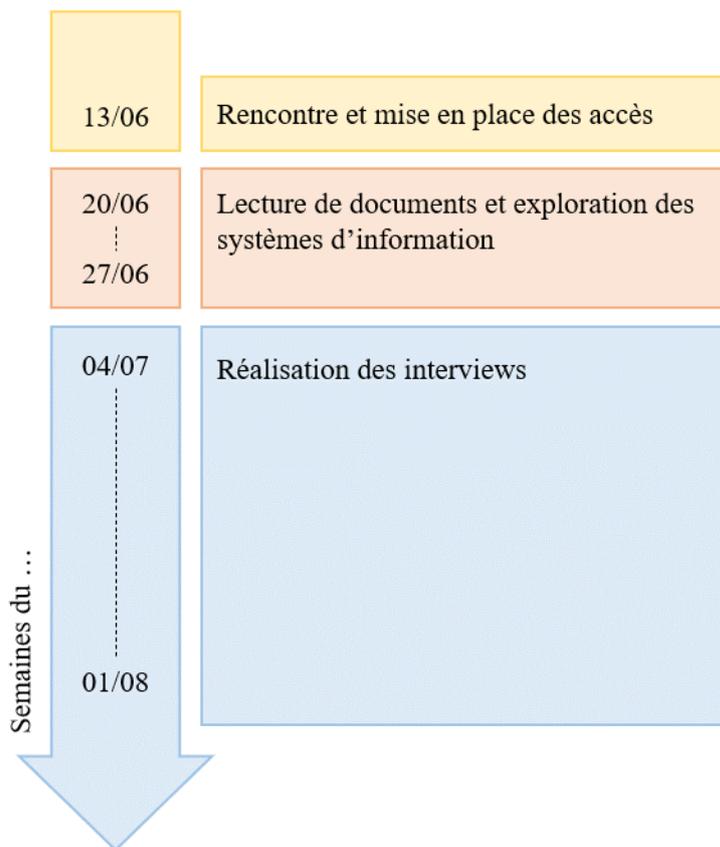
### **III.4 DÉROULÉ DE LA RÉCOLTE DE DONNÉES**

Afin de récolter ces données, une dizaine de journées de présence dans les bureaux de l'entreprise ou sur chantier, répartie sur six semaines consécutives entre juin et juillet 2022, ont été réalisées.

La première étape a été la rencontre avec les différentes équipes BIM présentes au siège de l'entreprise et la configuration des accès aux plateformes et documents numériques des projets. Un ordinateur portable de l'entreprise a été mis à disposition afin de disposer des ressources internes aux projets mais également d'avoir accès à une adresse e-mail au nom de l'entreprise. Cela a possiblement facilité la prise de contact par mail avec les personnes à interviewer, étant donné la crédibilité supplémentaire qu'accordait cette adresse e-mail officielle.

En parallèle de la prise de contact avec les personnes à interviewer, deux semaines ont été consacrées à l'exploration des projets et des documents s'y rapportant. Enfin, les entretiens se sont déroulés durant les semaines qui ont suivi. Les entretiens se sont déroulés sur une plus longue période que celle prévue initialement. En effet, certaines personnes n'étaient pas disponibles pendant plusieurs semaines étant donné que cette période est régulièrement consacrée aux départs en vacances.

La frise chronologique suivante (voir figure 15) illustre la répartition des différentes étapes.



**Figure 15 : Déroulé de la récolte de données**

Durant ces semaines d'immersion, l'ensemble des activités a été documenté dans un tableau, afin d'avoir une vision d'ensemble et une trace du déroulement exacte des étapes de cette récolte de données.

## III.5 DÉTAILS DE LA RÉCOLTE DE DONNÉES

### III.5.1 L'ANALYSE D'ARTÉFACTS

L'accès aux documents, aux projets et aux plateformes était également possible en dehors des présences dans les bureaux de l'entreprise étant donné qu'un ordinateur portable connecté aux serveurs de l'entreprise était mis à disposition pour l'ensemble de l'été.

Il était toutefois nécessaire ponctuellement d'être présent dans les bureaux afin de pouvoir poser tout type de question aux personnes présentes sur place. Sans cela, des éléments auraient été mal interprétés ou encore d'autres totalement incompris. De plus, étant autonome dans l'exploration des projets, la prise de contact avec les personnes en charge des adhésions aux plateformes collaboratives devait être amorcée sur base d'initiatives personnelles.

L'accès à l'ensemble des plateformes, ou dans certains cas uniquement à une portion d'entre-elles, était donc réalisable aussi bien dans les bureaux, qu'à domicile. Les captures d'écran ci-dessous (voir figure 16) représentent la variété de plateformes auxquelles l'accès a été procuré.

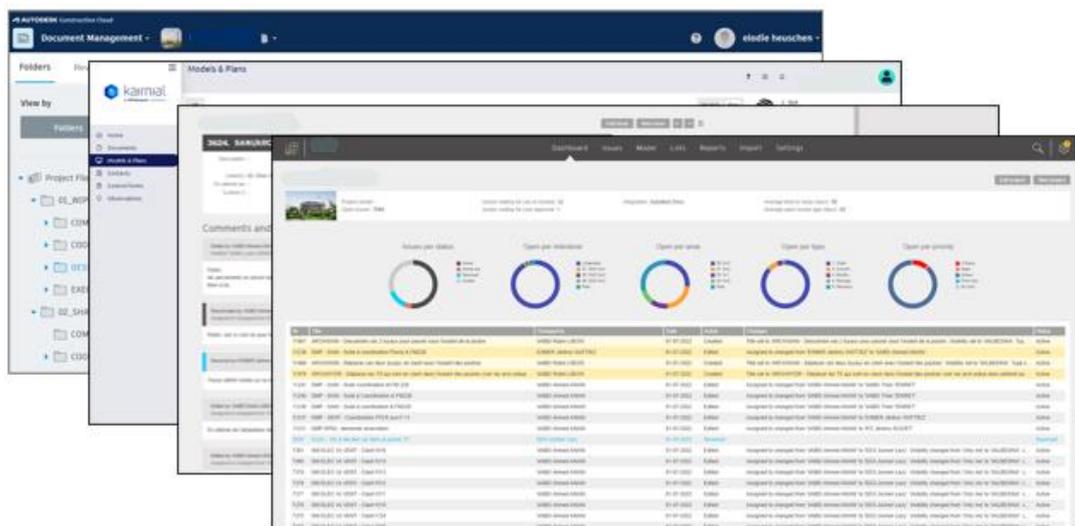


Figure 16 : Exemple de plateformes accessibles

Pour chaque projet, les dix points présents dans la grille d'analyse (cités au point III.1) constituent les caractéristiques pour lesquelles la recherche des données était particulièrement accentuée. Une fois un élément intéressant identifié, celui-ci était répertorié dans un document de travail dédié.

D'autres éléments qui ne correspondaient pas aux catégories définies dans la grille d'analyse, mais qui semblaient tout de même intéressants, étaient également ajoutés aux notes de travail dans l'optique où ils pourraient être utiles dans la suite du travail, ou si celui-ci venait à évoluer.

## **III.5.2 LES ENTRETIENS SEMI-DIRECTIFS**

### *III.5.2.1 PRÉPARATION DES ENTRETIENS*

#### *III.5.2.1.1 CHOIX DU TYPE D'ENTRETIEN*

Les entretiens de type semi-directif ont été sélectionnés puisque ceux-ci permettent de connaître le point de vue des acteurs sur un sujet vaste à l'aide de questions ouvertes auxquelles ils peuvent répondre librement. Il est également possible de relancer son interlocuteur lorsqu'une idée semble être intéressante à développer. Ce type d'entretien a pour avantage de faire émerger de nouvelles hypothèses de travail, d'ajuster la grille d'entretien et d'approfondir les réflexions au fur et à mesure des entretiens.

Les entretiens ayant pour objectif de récolter l'avis des acteurs des projets en les laissant libres de formuler leurs réponses, d'y intégrer des exemples concrets ou encore d'aborder ou non un sujet en particulier, les entretiens semi-directifs sont la solution la plus cohérente d'après le type de réponse attendue.

#### *III.5.2.1.2 CHOIX DES PERSONNES INTERVIEWÉES*

Un premier entretien a été réalisé avec l'un des responsables du département de l'entreprise afin de donner une première vision globale du déroulement des projets BIM de l'entreprise, et donc non reliée à un projet en particulier.

Les interviews suivantes se sont quant à elles intéressées particulièrement au projet en lien avec la personne interviewée. Pour chaque projet, 3 entretiens ont été menés. D'après les attentes de ces entretiens, interviewer les coordinateurs et/ou managers BIM des projets était une évidence. C'est ensuite en concertation avec ces personnes et d'après leurs connaissances des projets, que le choix des autres interlocuteurs a été réalisé.

Le tableau suivant (voir tableau 4) présente les rôles des différentes personnes interrogées dans le cadre de ces entretiens semi-directifs.

**Tableau 4 : Liste des personnes interviewées selon les projets**

<b>PROJET 1</b>	BIM Manager
	Coordinateur BIM
	Technicien BIM
<b>PROJET 2</b>	Manager du projet
	BIM Manager
	Coordinateur BIM
<b>PROJET 3</b>	BIM Manager (du client)
	Coordinateur BIM
	Coordinateur BIM

### III.5.2.1.3 GRILLE D'ENTRETIEN

Afin d'assurer le bon déroulement et la cohérence des entretiens, ceux-ci ont été préparés sur base d'une grille d'entretien reprenant les intitulés des questions à poser à son interlocuteur mais aussi des questions de relance possibles. La grille divise et regroupe l'ensemble des questions en sept sous-sections, la première s'intéressant au parcours personnel de la personne interviewée et les suivantes sur le projet étudié :

- Questions personnelles
- Description générale
- Clarté et facilité d'usage du système d'information
- Communication
- Mise en place et évolution du système d'information
- Confiance et efficacité perçues
- Freins et leviers

Les questions ont été formulées en ayant pour objectif d'être les plus objectives possible afin d'éviter d'influencer, de quelque manière que ce soit, la personne interviewée.

Cette grille d'entretien est disponible en Annexe 1 à la fin de ce document.

### III.5.2.2 DÉROULEMENT DES INTERVIEWS

Tout d'abord, afin de respecter une démarche éthique, il a été clairement expliqué aux interlocuteurs que leur participation était anonyme, qu'il s'agissait d'une recherche universitaire, et qu'en aucun cas les informations recueillies avaient pour objectif de dénoncer leur comportement et leurs pratiques dans le projet. Au contraire, l'étude a pour objectif de relever les freins à la collaboration perçus par ses acteurs afin d'y proposer des solutions.

Un accord oral a également été demandé, avant le début de chaque entretien, autorisant l'exploitation des données récoltées et l'enregistrement audio et/ou visuel de la session, suivant s'il s'agissait d'une entrevue en face à face ou en vidéoconférence. Les entretiens en présence étaient favorisés, cependant certains ont dû être réalisés en vidéoconférence lorsque cela n'était pas possible autrement, notamment en raison de la présence d'acteurs sur chantier à l'étranger. Les enregistrements contenant des informations sur les participants ont été supprimés lorsque la retranscription fut réalisée. Dans les retranscriptions, les noms des personnes mais aussi des entreprises partenaires citées ont été anonymisés afin d'assurer leur confidentialité. Finalement, lorsqu'un extrait d'entretien est présent dans ce document, le rôle de son auteur n'est pas inscrit.

Neuf entretiens ont ainsi été réalisés. La durée de ces entretiens, comprise entre 20 et 100 minutes, variait fortement selon le profil de la personne interrogée. Les Manager BIM, étant au cœur du système d'information et de sa conception, avaient, en comparaison aux autres profils, bien plus d'éléments à partager. Les valeurs 20 et 100 sont tout de même extrêmes, la majorité des entretiens réalisés durait aux alentours des 45 minutes.

Lors des différentes interviews, une prise de notes des éléments importants a été effectuée de manière à garder en tête lors de l'interview les éléments cités précédemment par l'interlocuteur et par conséquent à faciliter l'échange avec celui-ci. De plus, des enregistrements vocaux ont été réalisés pour permettre en aval la retranscription des échanges. Pour ce faire, la fonctionnalité de transcription de *Teams* a été utilisée pour retranscrire les interactions dans leur ensemble. Une révision manuelle a, dans un second temps, été nécessaire pour s'assurer de la fiabilité et apporter les corrections requises à la retranscription automatique. Il s'agit d'une étape particulièrement coûteuse en temps mais indispensable à la suite de la recherche.

### III.5.2.3 GRILLE D'ANALYSE ET TRAITEMENT DES DONNÉES

Les entretiens abordent différents sujets qui ont été traités de manière distincte. D'une part, ceux-ci permettent de récolter des informations supplémentaires quant à l'organisation formelle des projets et ainsi compléter et ajuster les fiches projets réalisées suite à l'analyse des artefacts. D'autre part, les avis et ressentis des acteurs portant sur le déroulement et le fonctionnement des projets sont utiles pour déceler les éventuels manques en ce qui concerne la collaboration et émettre des hypothèses quant à leur origine.

L'ensemble des informations récoltées a été trié et classé selon leur utilisation possible dans ce travail parmi les dix aspects présentés précédemment :

1. Réflexion générale lors de la mise en place du système d'information
2. Gestion des modèles BIM
3. Gestion des documents du projet
4. Gestion des problèmes (issues/clash)
5. Système de validation mis en place
6. Workflow de la gestion de l'information
7. Hiérarchie des accès
8. Communication
9. Maturité BIM du projet et des collaborateurs
10. Clarté et facilité d'usage du système d'information

Le codage des retranscriptions a été réalisé à l'aide du logiciel *Atlas.ti*.

Lorsqu'une donnée contenait une information liée à la collaboration du projet, celle-ci était également classée dans le programme dans l'une des sections suivantes afin d'obtenir une vision d'ensemble des points positifs, négatifs et propositions d'amélioration des systèmes d'information :

- Problèmes rencontrés
- Avis sur de nouvelles plateformes
- Pistes d'amélioration

# IV. ETUDE DE CAS

## IV.1 ORGANISATION GÉNÉRALE DES PROJETS BIM DANS L'ENTREPRISE

### IV.1.1 NIVEAU DE DÉVELOPPEMENT DU BIM

Pour rappel, le choix de l'entreprise avait été fait en prenant en compte un développement du BIM particulièrement poussé. Celle-ci tente de tirer le meilleur des technologies BIM dans ses projets de construction et d'étendre son département qui leur est consacré.

L'entreprise est certifiée PAS-1192 ainsi que ISO19650, ce qui signifie et assure qu'elle applique ces standards concernant l'échange d'informations numériques. PAS-1192 est la base anglaise sur laquelle se repose et s'est construite la norme européenne ISO19650 telle que décrite précédemment dans ce travail (voir section II.2.5).

Le recours au BIM, bien qu'encouragé, n'est cependant pas systématique dans tous les projets sur lesquels ils interviennent. Cela dépendra de plusieurs facteurs, tels que le type de contrat ou encore les attentes du client. Les utilisations du BIM peuvent être très variées et se déclinent tout au long de l'évolution du projet, depuis sa conception jusqu'à la réception du bâtiment : simulations, réalité virtuelle, coordination et synthèse, 4D (planification), 5D (contrôle des coûts), BIM As-Built, ...

### IV.1.2 DÉFINITION DES RÔLES BIM

Afin d'atteindre les objectifs BIM visés sur le projet, l'entreprise attribue dans ses équipes un ensemble de rôles et de missions liées au BIM. En particulier, la définition et la terminologie de ces rôles varient selon les entreprises. L'entreprise participant à la recherche définit dans la majorité de ses projets BIM les rôles suivants :

**BIM Manager** : une personne par projet possède le rôle de BIM Manager et celle-ci est la personne de référence pour le reste de l'équipe BIM du projet. Cette personne est responsable de la rédaction du Plan d'Exécution BIM, qui est élaboré en collaboration avec les parties prenantes, afin de s'assurer que la vision BIM du projet soit approuvée et assimilée par l'ensemble des acteurs. Le BIM Manager est, par conséquent, essentiel lors

de la mise en place du projet, mais est cependant continuellement présent pour s'assurer du bon déroulement de celui-ci et accessible en tant que référence pour tout questionnement.

**BIM Coordinateur** : Les BIM coordinateurs ont pour principale mission la compilation des modèles métiers qui leur sont partagés, après en avoir vérifié leur qualité d'après les critères qu'ils auront établis au début de la collaboration. Ils sont également chargés de la mise en place des outils de communication du projet et animent les réunions de coordination, lors desquelles ils partagent les problèmes majeurs détectés dans la maquette fédérée. Leur nombre varie selon l'ampleur du projet, de nouveaux coordinateurs peuvent également rejoindre le projet en cours de route lorsque la charge de travail est jugée trop importante pour l'effectif actuel.

**BIM Lead** (responsable métier) : Chaque groupe métier, par exemple architecture, structure, façade, techniques spéciales,... est coordonné par un BIM lead qui assure la cohérence et l'organisation du groupe. Il a des connaissances plus poussées dans la discipline dont il est responsable et fait le lien entre les BIM Manager et coordinateur avec son équipe de modélisation. Le BIM Lead s'assure que le protocole est correctement appliqué par son équipe et que la maquette métier est conforme pour être partagée et compilée avec les autres maquettes.

**BIM Modeleur** : Les modeleurs ont pour objectif l'implémentation de la géométrie mais également des paramètres propres au projet afin d'atteindre un niveau d'information présente dans le modèle satisfaisant. Ils suivent les directives et méthodes décrites dans les Plan d'exécution BIM. Au fur et à mesure du projet, les modeleurs mettent à jour leur maquette.

Les missions décrites ci-dessus sont théoriques et communes à l'ensemble de l'entreprise, il s'agit de sa vision idéale de la répartition des rôles. Chaque projet se base, par conséquent, sur cette vision des profils BIM, mais concrètement ceux-ci varient évidemment d'un projet à l'autre selon ses besoins, son ampleur ou encore ses possibilités.

### IV.1.3 ORGANISATION TYPE D'UN SYSTÈME D'INFORMATION DE PROJET

De la même manière que pour la définition des rôles, l'entreprise dispose d'une organisation et structuration numérique des projets de référence. C'est d'après cette base que les BIM Managers sont chargés de définir un système d'information cohérent avec leur projet.

#### IV.1.3.1 CHOIX DES PLATEFORMES

Tout d'abord, afin d'assurer les transferts d'information entre plateformes, l'entreprise favorise l'utilisation de plateformes permettant un export IFC contrôlé. Les outils fréquemment utilisés dans le système d'information des projets sont notamment : *BIM360*, *Navisworks*, *Solibri*, *Revizto*, *BIM Collab*, *Aconex*, ...

#### IV.1.3.2 GESTION DES INFORMATIONS

Le système d'information proposé présente trois catégories de plateformes dépendant de la nature et du rôle des informations partagées sur ceux-ci :

- Le Model Management System – MMS
- Le Document Management System – DMS
- L'Issue Management System – IMS

Les noms sont évocateurs de leur attribution. Ainsi, le **MMS** est dédié aux modèles BIM. Il permet la gestion, les révisions, ou encore les remarques en ce qui concerne les modèles présents sur la plateforme. Il s'agit à la fois des modèles de travail (Work In Progress) et des modèles partagés (Shared). Un Model Management System peut alors, si l'on se réfère aux typologies des outils proposées par Levan et présentées au point II.1.5, être caractérisé d'outil **orienté mémoire** étant donné sa fonction principale de partage de ressources.

Le **DMS** concerne la gestion et la validation de documents, plans, coupes, documents officiels, mais aussi les modèles BIM lorsque leur statut évolue en publié (Published) ou en archivé et leur partage avec le maître d'ouvrage. Cet outil particulièrement pensé pour la mise en place de workflow de partages officiels et la validation de fichiers semble ainsi s'apparenter aux outils **orientés routage**.

Enfin, l'**IMS** est destiné à la gestion des problèmes détectés via la détection des clashes, c'est-à-dire leur suivi et les discussions éventuelles autour de ces problèmes. Il s'agit dans ce cas d'un outil **orienté échange**, orienté sur les interactions.

Chaque plateforme possède en réalité des fonctionnalités qui pourraient correspondre à l'ensemble des typologies, cependant ils ont été classifiés ici selon leurs missions principales. La présence d'un outil de chaque typologie dans ce gabarit d'organisation de projet collaboratif démontre leur besoin de complémentarité.

#### *IV.1.3.3 CHARTES BIM*

L'entreprise demande à ce qu'un Protocole BIM ainsi qu'un Plan d'Exécution BIM soient rédigés pour chaque projet.

Le protocole contient, entre autres, le niveau de l'information attendu, les workflows principaux, les obligations de toutes les parties,... Celui-ci doit être incorporé dans le contrat afin d'assurer son respect par les sous-traitants, et ne doit normalement pas évoluer au cours du projet, en opposition au BEP.

Le Plan d'Exécution BIM est donc un document évolutif, contenant principalement les stratégies de livraison d'information, les codifications de fichiers et de modèles, les environnements des plateformes,... Il décrit, techniquement parlant, les méthodes de production et d'échange d'information et les interactions entre collaborateurs.

#### *IV.1.3.4 COMMUNICATION*

Enfin, des recommandations sont émises quant aux outils à utiliser selon le type de communication. Les communications contenant un échange d'information officielle doivent être réalisées exclusivement via l'une des plateformes de gestion d'information.

Les questions rapides et informelles peuvent être réalisées via tout canal (message, *Teams*,...). Les e-mails, étant non traçables par l'entreprise, ne sont pas autorisés pour l'échange de documents ou d'information devant se trouver dans le système d'information. Ils sont uniquement utilisés pour les communications directes ou les notifications.

L'organisation de projet telle que décrite dans cette section représente la vision de l'entreprise ce qui, d'après l'expérience de projets précédents, devrait permettre de démarrer le projet sur de bonnes bases. Les sections suivantes, quant à elles, décrivent les structurations réelles des projets étudiés, théoriquement fondés sur cette vision.

## IV.2 ETUDE DU PROJET 1

Le premier projet étudié est sans doute le plus imposant avec 140 000m<sup>2</sup> de surface et plus de 250m de hauteur. Cette tour administrative, actuellement en construction, se situe dans la portion ouest de l’Afrique. La majorité des collaborateurs du projet étant présents sur le chantier, les entretiens avec l’un des BIM Coordinateurs et un technicien BIM se sont déroulés par vidéoconférence.

Le tableau ci-dessous (voir tableau 5) reprend les informations principales du projet énoncées dans le paragraphe précédent :

Tableau 5 : Présentation du premier projet

Type de projet	Lieu	Etat
Tour administrative	Afrique de l’Ouest	En cours d’exécution

Rôle dans le projet des personnes interviewées	Durée de l’interview
1. BIM Manager	100 minutes
2. BIM Coordinateur	40 minutes
3. Technicien BIM	20 minutes

On retrouve dans ce projet les trois types de plateformes recommandées, c’est-à-dire une plateforme dédiée à la gestion de modèles, à la gestion de documents et finalement à la gestion des problèmes. Le tableau ci-dessous (voir tableau 6) présente les plateformes utilisées sur ce projet.

Tableau 6 : Plateformes principales utilisées pour la gestion de l’information dans le 1er projet

Gestion des maquettes MMS	Gestion des documents DMS	Gestion des problèmes IMS
		

#### IV.2.1 RÉFLEXION D'ENSEMBLE SUR L'ORGANISATION DU SYSTÈME D'INFORMATION

Le système d'information se construit sur base des demandes du client présentes dans le contrat mais également du budget disponible. Les données d'entrée à prendre en considération étaient dans ce cas l'utilisation d'Aconex en tant que Document Management System d'une part, et la modélisation sur Revit pour la majorité des sous-traitants.

Un autre point pris en compte, d'après les interviews réalisées, est l'estimation du niveau BIM des collaborateurs.

*« Pour moi, ça ne sert à rien de faire du high level BIM si les étapes de base ne sont pas suivies par tout le monde correctement. Ça ne sert à rien de te dire : on va faire de la réalité augmentée avec une intégration de planning en 5D, si en fait ces entreprises ne modélisent même pas en 3D, n'utilisent pas la maquette comme base de communication. »*

Enfin, le recours à un grand nombre d'outils différents a été l'une des critiques principales reçues de la part des collaborateurs. Une réflexion sur la définition des limites de chaque outil a donc été menée afin de clarifier les utilisations de chacun et éviter les superpositions.

*« J'ai pris du temps à bien définir ce qu'on met sur BIM Collab, ce qu'on met sur BIM360, ce qu'on met sur Aconex, la limite de chacun et comment on surveille tout ça. Parce que nous derrière on doit faire la police. »*

#### IV.2.2 GESTION DES MAQUETTES MÉTIERS ET FÉDÉRÉE — MMS

La plateforme *BIM360* permettant la centralisation de tous les modèles a été sélectionnée pour devenir le Model Management System et héberger l'ensemble des modèles. La volonté initiale était la modélisation instantanée entre les différents modèles métiers. Cependant, cette option n'a pu être réalisée étant donné les prix élevés des licences *BIM360* de ce type.

Les maquettes métiers en cours de modélisation, en Work In Progress, sont donc réalisées en interne par les sous-traitants. Elles sont ensuite publiées une fois par semaine sur le MMS afin que les coordinateurs les partagent dans l'espace Shared prévu à cet effet, et permettent aux autres collaborateurs d'accéder à la dernière version de leurs informations.

« *Donc c'est nous [les coordinateurs BIM] qui faisons le passage de WIP à Shared. Pourquoi ? Parce qu'on veut pas que ça aille dans tous les sens, on veut être sûr que les modèles sont présents. Après on regarde pas vraiment le contenu, on a pas le temps.* »

### IV.2.3 GESTION DES DOCUMENTS — DMS

Une fois les modèles complets, cela n'est actuellement pas le cas, ceux-ci seront déplacés et caractérisés de Published sur la plateforme de partage d'information officielle imposée sur le projet, *Aconex*. On retrouve sur cette plateforme des plans, coupes ou encore les comptes rendus de réunions. Le fait de recourir à une plateforme différente pour les informations officielles permet entre autres d'éviter que celle-ci ne soit encombrée de fichiers brouillons.

### IV.2.4 GESTION DES PROBLÈMES — IMS

#### IV.2.4.1 DÉTECTION DES PROBLÈMES

La plateforme de détection de conflits utilisée est *Navisworks* pour sa facilité de prise en main et son interface accessible, notamment puisqu'il s'agissait du premier projet des BIM Coordinateurs.

#### IV.2.4.2 GESTION DES PROBLÈMES

*BIM Collab* était connu et apprécié par le BIM Manager du projet, ce qui a influencé son choix pour cette plateforme. *Revizto*, un autre logiciel permettant également la gestion des *issues*, semblait également prometteur, mais son prix plus élevé a confirmé le premier choix de *BIM Collab*.

Cette plateforme permet de partager les collisions détectées avec les autres collaborateurs et de réaliser un suivi de leur évolution. Cela peut être très pratique pour l'évolution d'un

projet puisque permet de reparcourir une discussion sur un élément particulier. Les clash sont liés numériquement au modèle BIM visualisables à l'aide de l'outil *Navisworks*. *BIM Collab* ne contient donc pas le modèle à proprement parler mais bien des BCF contenant les identifiants des éléments concernés par le problème.

Aussi, la gestion des problèmes dans l'outil est facilitée par la possibilité de les trier selon les paramètres des *issues* renseignés.

#### IV.2.5 SYSTÈME DE VALIDATION

Les modèles partagés hebdomadairement sont vérifiés par les BIM Coordinateurs avant leur partage avec le reste des collaborateurs. Ces audits concernent notamment la vérification du point d'origine, l'orientation du modèle, le nom du fichier,... Les erreurs remarquées lors de ces audits sont ensuite communiquées aux personnes concernées afin d'éviter qu'elles ne soient reproduites lors du partage suivant.

Le Document Management System dispose quant à lui d'un système d'approbation intégré. Ainsi, des processus de validation de plans par le client, ingénieurs ou autres peuvent être réalisés directement depuis la plateforme. Cependant, les personnes interrogées partagent qu'il est fréquent que des approbations tardent à être données par certains collaborateurs et que cela ne retarde l'entièreté des processus en cours.

## IV.2.6 WORKFLOW GÉNÉRAL DE LA GESTION DES MODÈLES

La figure suivante (voir figure 17) illustre et synthétise la gestion l'information, particulièrement des modèles, présentée dans ce chapitre afin de mieux visualiser les processus mis en place.

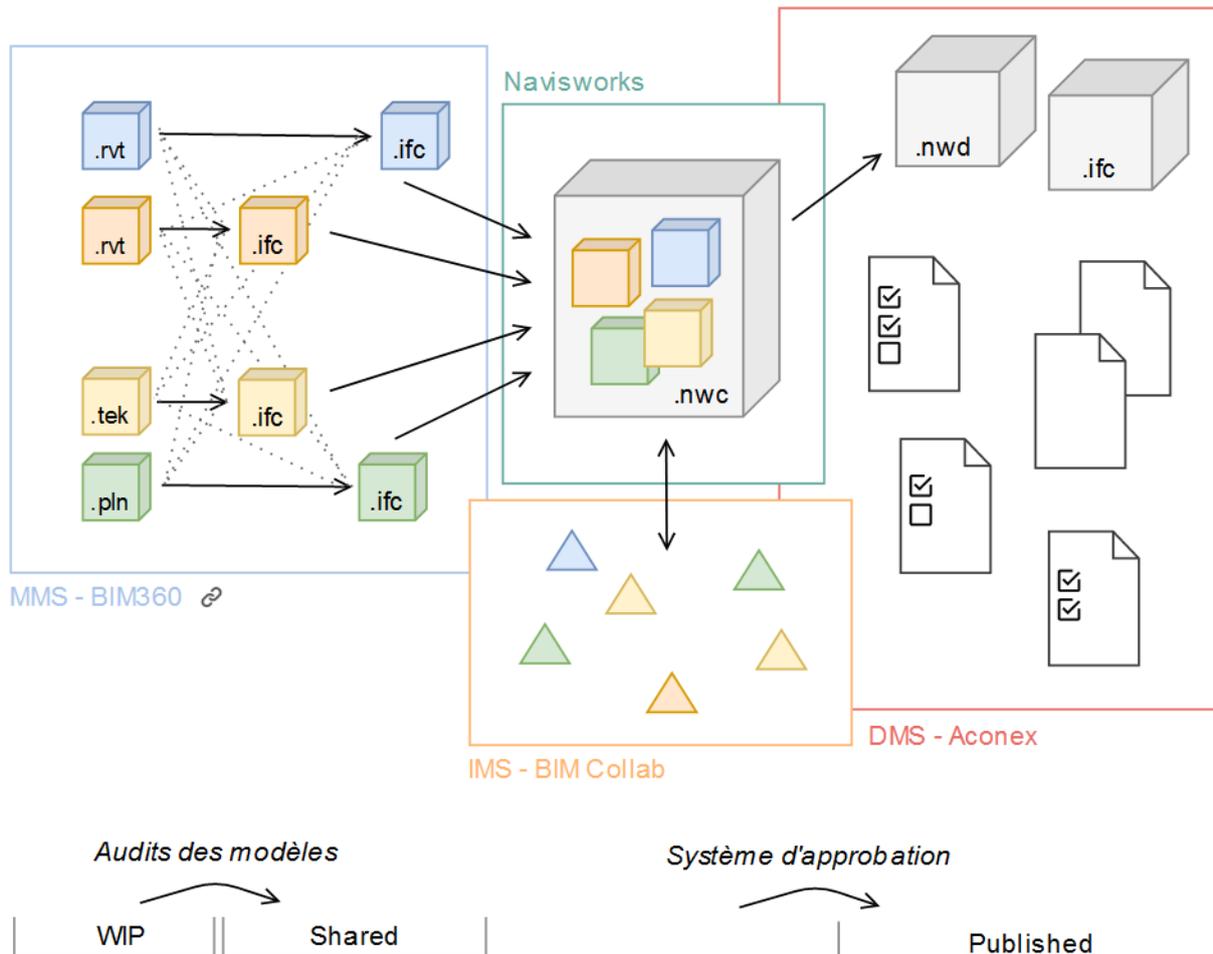


Figure 17 : Workflow principal de l'échange de modèle - projet 1

### Légende

	Modèle 3D		Transfert d'information
	Problème - issue		Echange d'information
	Document		Liaison
	Approbation		
	Lien		

#### IV.2.7 HIÉRARCHIE DES ACCÈS

Les sous-traitants disposent d'un espace I-Space dans *BIM360*, dans lequel ils peuvent organiser leur travail selon leurs besoins. Les autres collaborateurs ne peuvent accéder à ces dossiers.

#### IV.2.8 COMMUNICATION

*« Pour moi 2 règles de base : tu n'envoies pas de mail, et quand tu partages des documents, tu le fais sur une base de données. »*

Le partage de données doit, par conséquent, être réalisé via *BIM360*, *BIM Collab* ou encore *Aconex* selon sa nature. Cependant, certains collaborateurs semblent démultiplier les communications et créent ainsi des redondances de données.

*« Et que malheureusement je sais pas pourquoi mais j'ai l'impression que les entreprises n'ont pas trop confiance et quand ils veulent partager une information officielle ils font de nouveau un BIM Collab, puis un mail, puis un mail Aconex. Donc souvent on duplique l'information »*

Enfin, le recours aux mails est tout de même encore fréquent malgré les recommandations du projet le déconseillant.

#### IV.2.9 CLARTÉ ET FACILITÉ D'USAGE DU SI

L'organisation du système d'information a été présentée à l'ensemble des sous-traitants au commencement du projet. Ensuite, des rappels multiples ont été faits et cela a permis au fur et à mesure du projet de fluidifier les processus. Quelques erreurs persistent ponctuellement. Par contre, l'arrivée de nouvelles personnes dans les équipes non informées des conventions complique la gestion du projet.

« C'était clair car on a insisté plein de fois au début. Évidemment y a toujours des erreurs. Mais on savait que ça allait arriver donc on était au taquet à faire la police dès le début. Le problème c'est quand t'as des nouveaux sous-traitants de sous-traitants et là c'est difficile. »

## IV.2.10 MATURITÉ BIM DU PROJET ET DES COLLABORATEURS

### IV.2.10.1 EXPÉRIENCE BIM DES COLLABORATEURS

Les présentations des plateformes et des manipulations à réaliser ont permis aux personnes pour qui il s'agissait de leur premier projet BIM de mieux comprendre et cerner leur mission. Les personnes interviewées affirment que ces formations rapides sont très efficaces, mais aussi que les documents fournis tels que le BEP notamment permettent d'être guidés tout au long des manipulations.

### IV.2.10.2 MATURITÉ BIM DU PROJET

Ce projet est qualifié de « bas niveau » de BIM par les intervenants étant donné son utilisation limitée à la coordination géométrique et l'extraction de quantités, mais aussi la modélisation saccadée basée un système de partage des modèles qui empêche un accès à l'information la plus récente. L'utilisation minimale des modèles sur le chantier est également pointée du doigt.

Le projet recourt également à d'autres plateformes ne rentrant dans aucune des catégories ci-dessus. Parmi celles-ci, *PowerBi* est utilisé en interne par l'entreprise générale pour effectuer un suivi statistique de l'avancée du projet. *Dalux*, outil de communication permet, quant à lui, la création et le suivi de remarques chantier.

#### IV.2.11 PROJET 1 — ELÉMENTS D'ANALYSE ET DE SYNTHÈSE

A la suite de la compréhension de l'organisation de ce projet et la mise en avant des problèmes rencontrés dans celui-ci, il est dès lors possible d'analyser ces données vis-à-vis des caractéristiques et classifications présentées dans la section bibliographique dédiée à la collaboration.

Dans un premier temps, caractérisons (voir tableau 7) les différentes tâches supportées par le système d'information d'après les **modes de travail collaboratifs** détaillés dans la section II.1.3.

**Tableau 7 : Caractérisation du système d'information du projet 1 d'après les modes de travail collaboratifs**

<p><b>Co-conception</b> ----- <b>Synchronisation cognitive</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réunions de coordination, appels via <i>Teams</i></li> <li>- Assignation et résolution de clash via <i>BIM Collab</i></li> <li>- Création et suivi de requêtes via <i>Aconex</i></li> <li>- Création et suivi de remarques chantier via <i>Dalux</i></li> </ul>
<p><b>Conception distribuée</b> ----- <b>Synchronisation opératoire</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modélisation isolée via <i>BIM360</i></li> <li>- Détection de clash via <i>Navisworks</i></li> <li>- Extraction de quantités via <i>Kabandy</i></li> </ul>

Le tableau ci-dessous (voir tableau 8) répartit ensuite les principaux outils ainsi que leur classification parmi les « **5 Co** » (section II.1.6) caractérisant les collecticiels.

**Tableau 8 : Classification des outils du projet 1 selon les "5 Co"**

Identifié dans la littérature	Identifié dans le projet 1
Support à la <b>communication</b>	<p><i>Teams</i> <i>Mails</i> <i>BIM Collab</i> <i>Aconex</i> <i>Dalux</i></p>

Support à la <b>co-production</b>	<b>En I-Space :</b> <i>Revit</i> <i>Tekla</i> (modèles structure)  <b>En We-Space :</b> <i>BIM360</i>
Support à la <b>coordination</b>	<i>Navisworks</i> pour la détection de clash <i>BIM Collab</i> pour l'assignation de clash
Support à la <b>co-mémorisation</b>	<i>BIM360</i> Share Point <i>Teams</i> <i>Aconex</i> (dépôt et archivage de fichiers)
Support au <b>contrôle des processus</b>	<i>Aconex</i> (workflow de validation)

Le tableau ci-dessous (voir tableau 9) caractérise les collecticiels utilisés d'après leur positionnement dans la **matrice espace/temps**.

**Tableau 9 : Matrice espace/temps des collecticiels du projet 1**

	<b>Synchrone</b>	<b>Asynchrone</b>
<b>Lieux identiques</b>		<i>BIM360</i> <i>Aconex</i> <i>BIM Collab</i> <i>Dalux</i> Share Point interne <i>Teams</i>
<b>Lieux différents</b>	<i>Teams</i> (appels)	<i>Teams</i> (discussions)

Enfin, le tableau suivant (voir tableau 10) décrit les **modes de coopération** exploités dans le projet pour chaque collecticiel principal et indique si un manque de **flexibilité** le concernant a été soulevé lors des interviews.

Tableau 10 : Flexibilité et modes de coopérations exploitées des outils du projet 1

	Manque de flexibilité soulevé	Coopération asynchrone	Coopération en session	Coopération en réunion	Coopération étroite
<i>BIM Collab</i>		X	X		
<i>Aconex</i>	X	X	X		
<i>BIM360</i>		X	X		
<i>Dalux</i>	X	X	X		

La dernière analyse (voir tableau 11) présente l'ensemble des freins repérés dans ce projet, en les regroupant d'après catégories de freins à la collaboration identifiés (section II.1.5).

Tableau 11 : Classification des freins à la collaboration du projet 1

Identifiés dans la littérature	Identifiés dans le projet 1	Impact potentiel sur le SI
Manque de <b>connaissances</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aisance des collaborateurs avec les outils BIM</li> <li>- Barrières de la langue</li> </ul>	Simplification des manipulations à effectuer dans le SI
Manque de <b>volonté</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réactivité des collaborateurs</li> <li>- Contexte contractuel</li> <li>- Niveau d'investissement des collaborateurs</li> </ul>	
Manque de <b>temps</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Respect des jalons</li> </ul>	
Manque de <b>moyens techniques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interopérabilité</li> <li>- Tri de l'information par métadonnées</li> <li>- Démultiplication des outils</li> <li>- Réactivité des fournisseurs logiciels</li> </ul>	<p>Choix des plateformes et de leurs fonctionnalités exploitées</p> <p>Limitation du nombre d'outils cumulés</p>

<b>Manque de moyens financiers</b>	- Coûts des plateformes	Choix des plateformes
<b>Manque de confiance</b>	- Multiplication des modes de communication	
<b>Qualité du travail</b>	- Incohérences entre données d'un même collaborateur	
<b>Changement de volonté</b> des MO/MOA		
<b>Manque d'information</b> ou information erronée	- Rigueur lors des exports IFC - Exploitation de l'information sur chantier	

## IV.3 ETUDE DU PROJET 2

Le second projet concerne une construction de bureaux de plus de 75 000m<sup>2</sup> dans la Région Flamande. Jusqu'à la construction du quatrième étage du bâtiment, la coordination BIM entre sous-traitants était presque nulle, rendant le chantier très compliqué. L'organisation du projet a alors été repensée dans son ensemble, notamment en développant les équipes BIM pour permettre rapidement un suivi de coordination sur le chantier. En plus d'un BIM Manager et d'un BIM Coordinateur, le Project Manager a lui aussi été interviewé afin de mieux comprendre les enjeux contractuels forts de ce projet. La description du système d'information détaillée dans les pages suivantes s'intéresse à la structure établie pour pallier au manque de coordination, et non à sa structure initiale.

Le tableau ci-dessous (tableau 12) reprend les informations principales du projet étudié :

**Tableau 12 : Présentation du deuxième projet**

Type de projet	Lieu	Etat
Bâtiment de bureaux	Flandre, Belgique	En cours d'exécution

Rôle dans le projet des personnes interviewées	Durée de l'interview
1. Manager du projet	20 minutes
2. BIM Manager initial	35 minutes
3. BIM Coordinateur	45 minutes

Dans ce projet, le système d'information contient également les plateformes *BIM360* et *BIM Collab* pour les gestions de modèles et d'*issues*. Le choix réalisé sur la gestion des documents est cependant différent. Le tableau suivant (voir tableau 13) reprend ces principaux choix.

**Tableau 13 : Plateformes principales utilisées pour la gestion de l'information dans le 2e projet**

Gestion des maquettes MMS	Gestion des documents DMS	Gestion des problèmes IMS
		

### IV.3.1 RÉFLEXION D'ENSEMBLE SUR L'ORGANISATION DU SYSTÈME D'INFORMATION

Le contrat mis à jour suite aux problèmes rencontrés sur le chantier, l'entreprise générale peut désormais décider de l'organisation à mettre en place pour améliorer la coordination. Il y a très peu de contraintes quant à la structure du système d'information à mettre en place et l'entreprise est libre de faire des choix selon ses propres attentes en termes de collaboration. Le seul objectif à atteindre demandé par le client est la réalisation d'un modèle As-Built ayant un LOD300 (les Level Of Details permettent de définir le niveau minimum de détails de l'information présente dans les modèles). L'organisation BIM a alors été pensée dans l'urgence et limitée à des utilisations minimales, c'est-à-dire uniquement de manière à permettre la coordination (dans le sens de repérer et apporter les modifications nécessaires aux collisions géométriques détectées via clash).

*« En fait, comme il y avait pas vraiment de demande du client hyper précise, le BIM n'a pas été bien vendu non plus, n'a pas été bien compris. Je crois que ça paraissait comme juste être un peu une perte d'argent et de temps et on savait pas trop ce qu'on allait pouvoir en faire à la fin : On va faire les choses de façon plus classique, comme on a toujours fait. Pour les clash c'est super, pour la suite après on verra comme on faisait avant quoi. »*

Afin de mettre cela en place, le BIM Manager dit s'être alors basé sur les recommandations et la façon de travailler habituelle de l'entreprise, tout en pensant à limiter le nombre de plateformes utilisées.

### IV.3.2 GESTION DES MAQUETTES MÉTIERS ET FÉDÉRÉE — MMS

La plateforme permettant la gestion des modèles est *BIM360*. Le BIM Coordinateur interviewé indique que choisir *BIM360* dans le projet lui semble être une évidence, qu'il n'y a pas vraiment d'autres solutions actuellement. En ce qui concerne le tri des modèles, les modèles de travail sont accessibles via le dossier Work in Progress dédié à chaque sous-traitant. De manière hebdomadaire et planifiée, ceux-ci transfèrent leur modèle figé vers leur dossier Shared défini. Ce sont les modèles Shared qui sont ensuite liés aux autres

modèles. Il aurait été possible de travailler en exploitant les fonctionnalités *cloud* de la plateforme *BIM360*, mais cela leur semblait trop poussé vis-à-vis de la maturité et des ambitions BIM faibles de ce projet.

### IV.3.3 GESTION DES DOCUMENTS — DMS

Une fois les modèles prêts à être partagés avec le client et à être archivés, ceux-ci sont déplacés sur la plateforme *Bricsys*, où sont aussi publiés des plans et d'autres documents officiels selon une nomenclature définie. Un système de validation est disponible afin d'approuver ou non un document partagé, comme par exemple un plan d'exécution à faire valider par les responsables de la structure.

Les équipes internes de l'entreprise disposent également d'un Share Point pour le partage et l'archivage des documents qui leur sont propres. Ce Share Point constitue, par conséquent, l'I-Space de l'entreprise.

### IV.3.4 GESTION DES PROBLÈMES — DÉTECTION ET IMS

#### IV.3.4.1 DÉTECTION DES PROBLÈMES

La détection de clash était initialement pensée via la plateforme *Navisworks*, cependant, suite à des problèmes d'interopérabilité détectés avec les modèles IFC d'architecture, la solution fut de recourir à *Solibri*.

*« Les exports de Archicad en IFC posaient problème quand on les envoyait dans Navisworks pour faire les clash detections, on avait un problème, on arrivait pas à faire le suivi des clash. C'est à dire que chaque fois qu'on refaisait une clash detection, elle repartait à 0 [...] c'est pour ça que finalement on a fait la clash detection via Solibri. »*

Ensuite, la coordination menée par les BIM Coordinateurs était limitée à certains modèles. L'entreprise sous-traitante des techniques ayant la volonté de gérer ses propres *issues* en interne, les BIM Coordinateurs avaient donc pour consigne d'ignorer ce type de clash

n'impliquant que les différents réseaux malgré le fait que cela ne leur semblait pas être la solution optimale.

#### IV.3.4.2 GESTION DES PROBLÈMES

En ce qui concerne le contenu et la destination de l'outil, il s'agit de la gestion des *issues* et du suivi de leur résolution grâce à la possibilité d'entamer une discussion propre à chaque *issue* entre les collaborateurs concernés.

Le choix de la plateforme a été guidé par l'expérience de projets précédents, mais aussi par le fait que les outils présents sur le marché n'étaient pas nombreux, ce qui limitait les possibilités. Un autre critère pris en compte était également la possibilité de lier *BIM Collab* aux plateformes de détections de conflits.

*« A l'époque, on avait pas Revizto, BIM Collab était un peu le seul Issue Management System qu'il y avait. Ça fonctionnait pas mal avec Navisworks et Solibri. »*

#### IV.3.5 SYSTÈME DE VALIDATION

Contrairement aux recommandations émises par l'ISO-19650, aucune approbation approfondie de l'information partagée n'est prévue. Le contrat ne mentionnant aucune directive à ce sujet, seul un contrôle visuel minime afin de vérifier qu'aucun problème important de modélisation n'avait eu lieu est ponctuellement réalisé.

*« Alors ici comme on avait pas d'obligation, de demande du client à remplir, on avait personne qui checkait notre travail par-dessus, donc on n'a pas vraiment mis en place de procédure Quality Assessment ni Quality Control comme on dit. [...] C'était juste de nous, pour nous. »*

### IV.3.6 WORKFLOW GÉNÉRAL DE LA GESTION DES MODÈLES

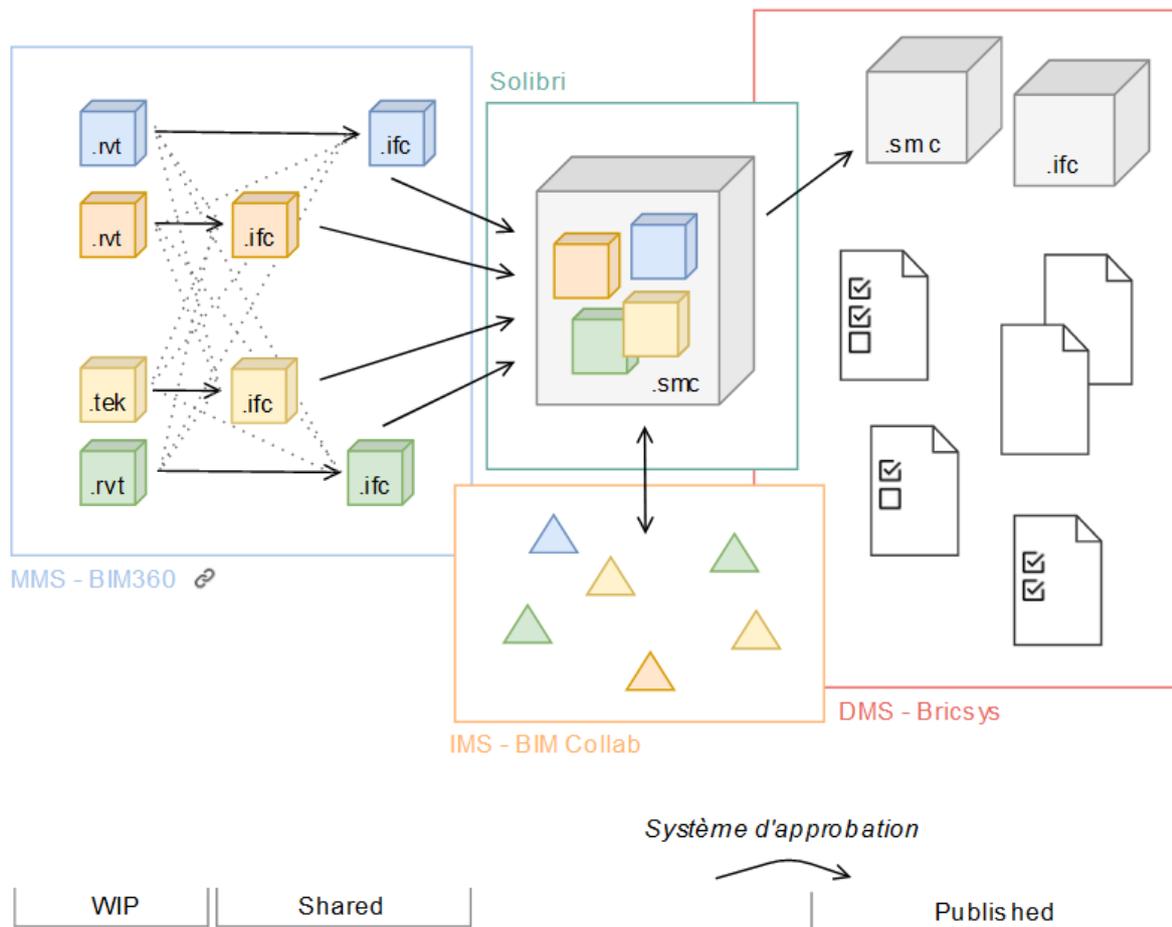


Figure 18 : Workflow général de la gestion des modèles - Projet 2

#### Légende

- |   |                  |   |                         |
|---|------------------|---|-------------------------|
|  | Modèle 3D        |  | Transfert d'information |
|  | Problème - issue |  | Echange d'information   |
|  | Document         |  | Liaison                 |
|  | Approbation      |   |                         |
|  | Lien             |   |                         |

### IV.3.7 HIÉRARCHIE DES ACCÈS

Les modèles en cours ainsi que les documents internes aux entreprises ne sont visibles et accessibles que par celles-ci, il s'agit de leur I-Space. Ce n'est qu'une fois les informations partagées, dans l'espace We-Space du projet, que les autres collaborateurs peuvent y avoir accès.

*« Tout ce qui se passe en WIP, là seules les différentes parties n'ont accès qu'à leur propre folder. On ne voit pas et on utilise pas les Work in Progress des autres dans ce cas-ci, et on utilise que ce qui est dans le Shared, et puis on passe en Published avant d'archiver. »*

### IV.3.8 COMMUNICATION

L'échange d'information est priorisé via les plateformes d'IMS et de DMS, c'est-à-dire *BIM Collab* ainsi que *Bricsys*, plutôt que l'échange personnel. Les personnes interrogées témoignent que les résolutions de clash ont bien été faites sur l'IMS comme ce qui était prévu.

### IV.3.9 CLARTÉ ET FACILITÉ D'USAGE DU SI

Étant donné les faibles attentes BIM du projet, le système d'information mis en place était accessible pour l'ensemble des collaborateurs, et particulièrement accessible au sous-traitant principal chargé de la modélisation des techniques pour qui ce n'était pas le premier projet BIM réalisé en partenariat avec cette entreprise.

Le projet dispose d'un Plan d'Exécution BIM décrivant, notamment à l'aide de workflows détaillés, les méthodes mises en place pour l'échange d'information. Cependant, aucun protocole n'a été réalisé dans le cadre de ce projet. Le BEP est, par conséquent, la seule référence en ce qui concerne les pratiques BIM.

### IV.3.10 MATURITÉ BIM DU PROJET ET DES COLLABORATEURS

#### IV.3.10.1 EXPÉRIENCE BIM DES COLLABORATEURS

L'entreprise en charge de la modélisation des techniques possédait les connaissances nécessaires et a permis de rapidement réaliser un modèle fiable pour débiter une coordination correcte et poursuivre le chantier.

#### IV.3.10.2 MATURITÉ BIM DU PROJET

Pour rappel, dans ce projet, le chantier a débuté alors qu'aucune coordination n'était mise en place. Le client n'avait, en effet, émis aucune recommandation à ce sujet. Or, la réalisation d'un projet BIM devrait, selon les membres du projet interviewés, être réfléchie et implémentée dès le commencement du projet.

*« Ce qui est très important à noter, c'est qu'à la base le BIM ça doit être une volonté qui doit être à imprimer dès le début, donc normalement par le client. [...] s'il y a pas dès le début des attentes très claires et bien établies, c'est moins facile. Et dans ce cas-ci, le client n'en avait pas et donc c'est nous qui les avons établies nous-mêmes. Et puis finalement, comme c'était de nous, pour nous et pour parfois des raisons de budget et de temps, on n'a pas exploité autant qu'on aurait pu. »*

Enfin, en dehors de la coordination géométrique des éléments, les responsables BIM dénoncent le manque de complétion des éléments présents dans le modèle et, par conséquent, l'impossibilité de l'exploiter pour d'autres utilisations.

*« Les gens qui ont accès à la maquette fédérée ne l'ont pas utilisée. Elle a été utilisée en première partie pour faire des clashes, pour résoudre des problèmes. Et dans un 2e temps, elle a vraiment pas été utilisée pour faire des relevés de quantités ou des vérifications pour être en ligne avec les demandes du client. [...] C'est dommage, on a pas su l'utiliser parce qu'on n'a pas vérifié, ou parce qu'on n'a pas bien insisté dans le BEP sur certains points et donc il y a des paramètres qui n'ont pas été remplis par certains sous-traitants. Et c'est difficile aujourd'hui de revenir leur demander. »*

### IV.3.11 PROJET 2 – ELÉMENTS D'ANALYSE ET DE SYNTHÈSE

Il est désormais possible d'analyser ces données vis-à-vis des caractéristiques et classifications présentées précédemment.

Le tableau 14 (voir tableau 14) présente les principales tâches supportées par le système d'information d'après **les modes de travail collaboratifs** de co-conception et de conception distribuée.

**Tableau 14 : Caractérisation du système d'information du projet 2 d'après les modes de travail collaboratifs**

<p><b>Co-conception</b> ----- <b>Synchronisation cognitive</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réunions de coordination, appels via <i>Teams</i></li> <li>- Assignation et résolution de clash via <i>BIM Collab</i></li> </ul>
<p><b>Conception distribuée</b> ----- <b>Synchronisation opératoire</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modélisation isolée via <i>BIM360</i></li> <li>- Détection de clash via <i>Solibri</i></li> </ul>

Les outils et collecticiels utilisés dans le projet sont classifiables selon leur support aux différentes branches des « 5 Co » (voir tableau 15), le temps et l'espace (voir tableau 16) et finalement leur flexibilité (voir tableau 17).

**Tableau 15 : Classification des outils du projet 2 selon les "5 Co"**

<b>Identifié dans la littérature</b>	<b>Identifié dans le projet 2</b>
Support à la <b>communication</b>	<p><i>Teams</i> <i>Mails</i> <i>BIM Collab</i> <i>Bricsys</i></p>
Support à la <b>co-production</b>	<p><b>En I-Space :</b>  <i>Revit</i> <i>Archicad</i> (modèle architecture) <i>Tekla</i> (modèle structure)</p>

	<b>En We-Space :</b> <i>BIM360</i>
Support à la <b>coordination</b>	<i>Solibri</i> pour la détection de clashes <i>BIM Collab</i> pour l'assignation de clashes
Support à la <b>co-mémorisation</b>	<i>BIM360</i> Share Point <i>Teams</i> <i>Bricsys</i> (dépôt et archivage de fichiers)
Support au <b>contrôle des processus</b>	<i>Bricsys</i> (workflow de validation)

Tableau 16 : Matrice espace/temps des collecticiels du projet 2

	<b>Synchrone</b>	<b>Asynchrone</b>
<b>Lieux identiques</b>		<i>BIM360</i> <i>Bricsys</i> <i>BIM Collab</i> Share Point interne <i>Teams</i>
<b>Lieux différents</b>	<i>Teams</i> (appels)	<i>Teams</i> (discussions)

Tableau 17 : Flexibilité et modes de coopérations exploités par les outils du projet 2

	<b>Manque de flexibilité soulevé</b>	<b>Coopération asynchrone</b>	<b>Coopération en session</b>	<b>Coopération en réunion</b>	<b>Coopération étroite</b>
<i>BIM Collab</i>		X	X		
<i>Bricsys</i>		X	X		
<i>BIM360</i>		X	X		

La section II.1.5 de l'état de l'art nous permet finalement de regrouper les différents freins repérés dans ce projet d'après leur nature (voir tableau 18).

**Tableau 18 : Classification des freins à la collaboration du projet 2**

<b>Identifiés dans la littérature</b>	<b>Identifiés dans le projet 2</b>	<b>Impact potentiel sur le SI</b>
<b>Manque de connaissances</b>		
<b>Manque de volonté</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contexte contractuel</li> <li>- Méconnaissances des exploitations BIM possibles par le client</li> </ul>	
<b>Manque de temps</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coordination et exécution simultanée</li> </ul>	Restriction du BIM
<b>Manque de moyens techniques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flexibilité et personnalisation des outils</li> <li>- Interopérabilité</li> <li>- Connections automatiques entre plateformes</li> </ul>	Choix des plateformes et de leurs fonctionnalités exploitées
<b>Manque de moyens financiers</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diversité dans l'exploitation du BIM</li> </ul>	Restriction du BIM
<b>Manque de confiance</b>		
<b>Qualité du travail</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Complétion des paramètres projet</li> </ul>	
<b>Changement de volonté des MO/MOA</b>		
<b>Manque d'information ou information erronée</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Complétion des paramètres projet</li> <li>- Mise à jour du modèle d'après l'exécution</li> <li>- Rigueur lors des exports IFC</li> </ul>	

## IV.4 ETUDE DU PROJET 3

Le troisième projet analysé dans le cadre de cette étude de cas est un projet de plus de 50 000 m<sup>2</sup> de bureaux situé à Bruxelles. La différence principale en comparaison avec les deux autres projets déjà présentés est la présence sur celui-ci d'un BIM Manager propre au client qui a pu définir l'organisation du système d'information du projet selon ses attentes. En plus de deux coordinateurs BIM présents sur le chantier, et étant donné son rôle particulier dans ce projet, cette personne a également été interviewée.

Le tableau ci-dessous (tableau 19) reprend les informations principales du projet étudié :

Tableau 19 : Présentation du troisième projet

Type de projet	Lieu	Etat
Bâtiment de bureaux	Bruxelles, Belgique	En cours d'exécution

Rôle dans le projet des personnes interviewées	Durée de l'interview
1. BIM Coordinateur 1	50 minutes
2. BIM Coordinateur 2	55 minutes
3. BIM Manager du client	40 minutes

De la même manière que cela a été présenté dans les projets précédents, le tableau ci-dessous (voir tableau 20) résume les plateformes principales utilisées dans le projet pour la gestion de l'information :

Tableau 20 : Plateformes principales utilisées pour la gestion de l'information dans le 3e projet

Gestion des maquettes MMS	Gestion des documents DMS	Gestion des problèmes IMS
		

#### IV.4.1 RÉFLEXION D'ENSEMBLE SUR L'ORGANISATION DU SYSTÈME D'INFORMATION

Deux mois ont été prévus dans le déroulement du projet pour penser et mettre en place la structuration numérique du projet. Deux mois pendant lesquels le client et l'entreprise générale ont collaboré pour organiser ce projet.

Lors des interviews, deux points particuliers ont été soulevés en ce qui concerne la réflexion de la mise en place du système d'information dans son ensemble. Pour commencer, il s'agit du fait de limiter les manipulations à effectuer afin de les simplifier pour les sous-traitants, parfois, voire souvent, débutants avec ces outils.

*« On avait une liste de fonctionnalités de base, et en fonction de la réactivité de l'outil, des réels fonctionnalités des usages qu'on pouvait en faire et aussi de la maturité informatique des utilisateurs, on a choisi l'utilisation de certaines fonctionnalités, pas d'autres. »*

Ensuite, pour chaque outil, les fonctionnalités qui allaient être exploitées étaient définies selon les besoins du projet évidemment, mais également selon leur accessibilité.

*« [...] les sous-traitants c'est parfois la première fois qu'ils touchent Revit, donc on a essayé de minimiser ce qu'ils ont à faire d'un point de vue plus technique, Revit, ou autre. Tout a été vraiment fait pour qu'ils aient que le minimum, c'est à dire modéliser et synchroniser et c'est tout quoi. Ils ont très peu de connaissances techniques et profondes de tout ça, donc le but est que ce soit vraiment le plus simple pour eux. Qu'ils aient facilement accès à tout. »*

Le second point évoqué était que la réflexion et la rédaction des premières versions des protocoles BIM avaient été faites avant de connaître les entreprises qui seraient en charge de l'exécution. Il fallait, par conséquent, choisir les outils et penser les workflows de manière à ce qu'une entreprise générale avec une maturité BIM minime ne soit pas un problème pour l'avancée du chantier.

#### IV.4.2 GESTION DES MAQUETTES MÉTIERS ET FÉDÉRÉE - MMS

Contrairement aux deux autres projets, le choix a, ici, été fait de travailler avec des maquettes liées de manière instantanée les unes aux autres grâce à des liens. Ces maquettes liées sont les maquettes de travail qui s'actualisent pour l'ensemble des collaborateurs dès qu'il y a synchronisation de celles-ci. Cela est bien différent de l'autre cas de figure qui a été présenté jusqu'ici où les maquettes liées étaient figées puisque partagées par les autres métiers uniquement hebdomadairement.

Après avoir dans un premier temps utilisé les partages hebdomadaires, le choix a été fait de lier les maquettes en direct afin de réaliser un gain de temps :

*« On s'est rendu compte que parfois tu dois demander à un sous-traitant d'adapter un problème, puis une fois que c'est adapté, tu demanderas à l'autre de repasser par-là, et si tu fais ça, bah tu vas prendre une semaine, [...], ça prend beaucoup trop de temps ! Alors que si t'es en live, en direct, tu fais l'adaptation, puis l'autre resynchronise et voit l'adaptation. Et ça peut aller beaucoup plus vite, c'est beaucoup plus rapide. »*

Les demandes de modification sont, en effet, particulièrement nombreuses dans ce projet. Elles requièrent par conséquent des synchronisations plus régulières pour assurer une avancée du projet plus rapide et limiter les écarts entre l'avancement des maquettes et celui du chantier.

Dans ce projet, il n'y a donc pas de distinction entre les maquettes en cours, dites Work in Progress, et les maquettes partagées aux autres collaborateurs, dites Shared. Ainsi, les maquettes de travail sont les maquettes partagées, mais également celles utilisées pour la création du modèle fédéré. Ce modèle fédéré compilé via Navisworks une fois par semaine par l'un des BIM Coordinateurs permet, lorsque cela est nécessaire, d'effectuer une détection des clash, mais également et surtout de partager l'avancée générale de la modélisation avec le client. Cela se fait sur la plateforme *Kairnial* définie tel le Document Management System du projet.

### IV.4.3 GESTION DES DOCUMENTS — DMS

#### IV.4.3.1 PRÉSENTATION DE LA PLATEFORME

La plateforme utilisée permet aux différents intervenants d'interagir avec le client, de lui partager l'avancée du projet et de faire valider un ensemble de documents. Le modèle fédéré réalisé une fois par semaine y est ainsi publié et obtient le statut Published. On y retrouve également d'autres documents tels que des plans issus des différents modèles, des détails, des factures et autres fichiers officiels nécessitant approbation. Ces dernières sont représentées ici par des visas numériques envoyés à un ensemble d'intervenants définis par l'utilisateur. Ceux-ci peuvent ensuite accepter ou non le document, et y apposer des remarques si nécessaire.

La plateforme utilisée pour ces fonctionnalités est *Kairnial*. Celle-ci avait été sélectionnée au début du projet, notamment pour des fonctionnalités qui malheureusement n'étaient finalement pas disponibles et qui seront précisées au point suivant (voir IV.4.3.2). Cependant, le contrat ayant déjà été signé et sa mise en place ayant déjà débuté, la plateforme a été conservée.

En plus d'être la source de documents officiels, *Kairnial* est également utilisé pour indiquer toute remarque liée à l'exécution sur le chantier grâce à une fonctionnalité propre et uniquement accessible via cette plateforme.

Notons que, tout comme sur les autres projets, un « SharePoint » supporté par *Teams* est utilisé pour le partage des documents en interne.

#### IV.4.3.2 PROBLÈMES RENCONTRÉS

Parmi les problèmes en lien avec la gestion de documents, la majorité d'entre eux concerne les limites de la plateforme *Kairnial*. Les trois personnes interrogées sur ce projet ont toutes partagé leur déception quant à cet outil.

Tout d'abord, l'optimisation et l'accessibilité ne satisfont pas les attentes des utilisateurs. Les maquettes sont, en effet, particulièrement lourdes, peinent à s'afficher et ralentissent la navigation entre les dossiers.

La grandeur des maquettes limite également l'utilisation des modèles BIM, en ne permettant pas d'indiquer directement des remarques en 3D.

*« Par exemple, tout ce qui est utilisation de la 3D. On s'était dit qu'on allait y mettre toutes les observations, finalement elles sont mises que sur des plans 2D extraits des maquettes, et elles sont pas mises directement en 3D. Donc on n'exploite pas au final la partie 3D des maquettes dans Kairnial. Pourquoi ? Parce que nos maquettes sont trop lourdes aujourd'hui. »*

Enfin, le système de visas ne permet pas une flexibilité suffisante lors de leur création. Non seulement les visas sont définis selon le dossier dans lequel ils sont placés et donc ne permettent pas d'être classés comme souhaité, mais aussi, il est impossible de séquencer les appositions de visas.

*« Il [Kairnial] n'est pas le plus performant dans la mise en place de workflow de validation, puisque ce ne sont pas des opérations séquencées. C'est-à-dire qu'on doit pas attendre la validation de l'un pour passer à l'autre, on peut pas vraiment décrire un workflow de validation vraiment pointu. »*

L'utilisation des visas atteint également ses limites lorsque l'attente d'une signature bloque l'entièreté d'un processus et empêche le projet d'avancer. Il s'agit dans ce cas d'un problème humain et non plus d'une limitation de l'outil.

#### **IV.4.4 GESTION DES PROBLÈMES - IMS**

##### *IV.4.4.1 PRÉSENTATION DE LA PLATEFORME*

La troisième fonction principale du système d'information porte sur le management des *issues*. Celles-ci sont détectées sur *Navisworks*, pour être ensuite envoyées et triées sur l'Issue Management System. La plateforme utilisée pour la gestion des clashes est *BIM Collab*, qui a déjà été présentée dans le cadre des projets précédents.

#### IV.4.4.2 PROBLÈME RENCONTRÉ

En revanche, le système mis en place pour rechercher une discussion passée n'est pas encore suffisamment développé. Les utilisateurs interviewés indiquent effectivement que la filtration des éléments est difficilement exploitable étant donné l'impossibilité d'assigner des mots clés représentatifs aux différents problèmes. Lors de la visite du chantier, plus de 10 000 *issues* avaient déjà été créées. La quantité de problèmes justifie cette envie des utilisateurs de pouvoir réaliser un triage plus efficace.

Afin de limiter les plateformes, il était initialement planifié d'utiliser *Kairnial* pour réaliser la gestion de ces clash. Suite aux problèmes de visualisation et d'attribution de remarques dans les modèles 3D sur cette plateforme, cela n'a pas pu être possible et un autre outil, ici *BIM Collab*, a dû compenser ces fonctionnalités.

#### IV.4.5 SYSTÈME DE VALIDATION

Étant donné le partage instantané et automatique des maquettes entre les différents sous-traitants, aucune validation ne peut être effectuée avant les partages. Toutefois, des audits sont réalisés environ tous les trois mois par le client pour vérifier l'état et la qualité des informations. Les personnes interrogées partagent que des audits devraient être réalisés plus régulièrement, de manière à être plus constants dans la qualité des informations. En effet, c'est uniquement à l'approche des audits que les équipes de modélisation tentent de corriger tous les problèmes. Cela est dû, selon eux, à un manque de temps disponible pour assurer une meilleure continuité.

*« Des audits je pense qu'on devrait en faire plus souvent, même juste pour suivre les sous-traitants. Mais on a vraiment pas le temps de le faire et donc c'est juste si on arrive à dégager un peu de temps on va vite regarder un peu. Et si ça devient vraiment urgent, là alors on va s'appliquer pour le faire. »*

Ensuite, il y a également le système de visas qui est mis en place pour la validation des documents et informations officielles. Ce système ayant déjà été développé au point précédent, il n'est donc pas détaillé ici.

#### IV.4.6 WORKFLOW GÉNÉRAL DE LA GESTION DES MODÈLES

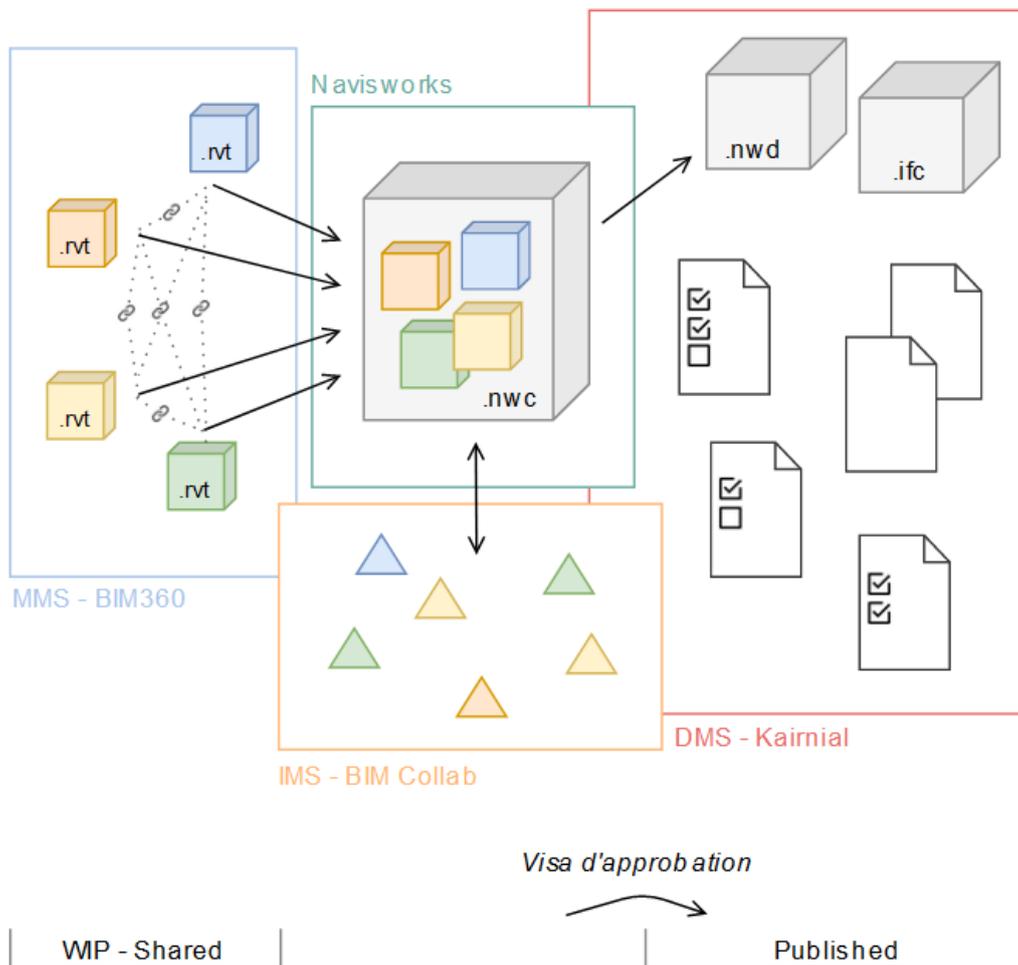


Figure 19 : Workflow général de la gestion des modèles – Projet 3

#### Légende

- |   |                     |   |                         |
|---|---------------------|---|-------------------------|
|  | Modèle 3D           |  | Transfert d'information |
|  | Problème - issue    |  | Liaison                 |
|  | Document            |   |                         |
|  | Visas de validation |   |                         |
|  | Lien                |   |                         |

#### IV.4.7 HIÉRARCHIE DES ACCÈS

L'accès aux informations dépend, comme dans de nombreux projets, du rôle du collaborateur. Ainsi, un sous-traitant aura accès à l'ensemble des informations du projet mais aura la possibilité d'éditer uniquement les informations qui lui appartiennent. Seuls les coordinateurs et managers de l'entreprise générale ont les capacités de modifier l'ensemble des fichiers présents dans la plateforme de gestion des modèles, ici *BIM360*. Cependant, afin de préserver la confiance entre les équipes, il est extrêmement rare que ceux-ci y apportent des modifications. Dans le cas où cela doit arriver, les personnes concernées sont toujours informées des manipulations effectuées.

Le Document Management System *Kairnial* est également divisé en sous-sections afin de permettre aux entreprises de disposer d'un espace privé sécurisé sur la plateforme. Cette division, non prévue au commencement du projet, a obligé le BIM Manager du client, jusqu'alors administrateur de la plateforme, à repenser son organisation étant donné que ce titre d'administrateur lui accordait l'accès à l'entièreté des dossiers et fichiers. La solution trouvée a été d'octroyer la fonction d'administrateur directement à l'entreprise *Kairnial*. Il aurait été également possible d'utiliser un autre outil pour y placer cet espace privatif, cependant le choix a été fait de le conserver sur *Kairnial* pour éviter de recourir à une plateforme supplémentaire.

#### IV.4.8 COMMUNICATION

Les personnes interrogées soulignent que la majorité des interactions en lien avec un élément modélisé est effectuée via les fonctionnalités qui y sont dédiées dans *BIM Collab* ou *Kairnial* selon le sujet de la discussion. Des fils de discussions sont créés dans *BIM Collab* pour les remarques concernant un clash ou une erreur de modélisation. *Kairnial* regroupe quant à lui les remarques apportées sur plans ou encore celles soulevant un problème relevé sur le chantier.

Cependant, lorsqu'une personne estime que la question ne nécessite pas d'être officielle, il est alors courant que celle-ci soit posée de manière informelle via la messagerie *Teams*, un SMS, un mail personnel ou encore discuter en face-à-face si cela est possible. Néanmoins,

le mail reste encore trop utilisé dans les projets de construction d'après les personnes impliquées.

« Et puis bon, on n'arrive pas à supprimer complètement l'échange de mails, même si l'objectif c'est de minimiser un maximum et de centraliser sur une plateforme, ça reste un moyen d'échange sous-marin qui est toujours quand même très fort utilisé malgré tout. »

#### IV.4.9 CLARTÉ ET FACILITÉ D'USAGE DU SI

##### IV.4.9.1 DESCRIPTION DU SYSTÈME D'INFORMATION DANS LE BEP

L'ensemble des plateformes et des échanges d'information composant le SI est minutieusement détaillé dans le plan d'exécution BIM. Les conventions de nommage de chaque type de fichier mais aussi l'arborescence de dossier ou encore les formats de fichiers partagés sont repris dans les documents fixant les conventions.

Les documents ayant été rédigés par le BIM Manager du maître d'ouvrage, les descriptions concernent et détaillent en particulier la plateforme à laquelle celui-ci aura particulièrement accès, c'est-à-dire *Kairnial*. Les démarches pour accéder aux clash et les consulter sur *BIM Collab* sont également décrites.

Par contre, aucune description présentant la plateforme de gestion des modèles *BIM360* n'a pu être trouvée. En la consultant, son organisation reste aisément compréhensible puisque chaque sous-traitant dispose d'un dossier qui lui est dédié et dans lequel sont présentes ses maquettes de travail. Étant donné que la liaison des modèles a été réalisée en amont dans le projet par les coordinateurs BIM, l'ensemble des manipulations des collaborateurs se font exclusivement dans leur dossier propre.

## IV.4.10 MATURITÉ BIM DU PROJET ET DES COLLABORATEURS

### IV.4.10.1 EXPÉRIENCE BIM DES INTERVENANTS

Comme cela a déjà été mentionné, il s'agit pour une partie des sous-traitants, notamment sur le chantier, de leur premier projet BIM. Les descriptions poussées de l'organisation du projet dans le protocole et BEP sont donc un atout pour permettre à chacun de comprendre son fonctionnement.

Cependant, il est fréquent que des collaborateurs viennent demander aux coordinateurs BIM de manipuler le modèle BIM pour leur fournir une information alors qu'ils pourraient parfaitement y avoir accès par eux-mêmes. Une partie des sous-traitants sur le chantier exploite les modèles, mais en très faibles proportions, les autres ayant encore du mal à les manipuler.

*« Tout le monde n'a pas l'habitude de travailler en 3D, n'est pas forcément à l'aise avec la manipulation, que ça soit sur ordi ou sur tablette pour commencer à utiliser les outils, savoir regarder, faire des coupes au bon endroit, ça nécessite un petit peu de connaissances et de dextérité. Et quand on l'utilise une fois tous les deux mois, évidemment on n'y arrive pas. »*

L'investissement nécessaire pour réaliser un projet BIM semble également sous-estimé par les collaborateurs débutants. Une personne rapporte par exemple que ceux-ci s'engagent donc dans des processus poussés puis ne parviennent pas à assurer les missions qui leur sont attribuées une fois le projet en cours.

### IV.4.10.2 MATURITÉ BIM DU PROJET

L'expérience BIM des collaborateurs n'est pas problématique uniquement sur le chantier. Ce manque d'expérience a également causé de grandes modifications du projet au cours de celui-ci, forçant les équipes à revoir leurs attentes en termes de BIM à la baisse.

Tout d'abord, l'un des regrets de l'entreprise générale est d'avoir accepté de prendre en charge la modélisation 3D des modifications apportées au projet dans les modèles de structure et d'architecture. Les contrats signés ne précisant pas que ces entreprises devraient poursuivre leur travail de modélisation, cette mission a été confiée sur le chantier aux coordinateurs BIM du projet. Cependant, l'ensemble des modifications doivent tout de même être approuvées par les entreprises responsables que ce soit sur plans ou coupes en 2D tel que stipulé dans le contrat. Il y a donc une contradiction forte entre la volonté du projet d'exploiter au maximum les éléments 3D et l'obligation de faire valider toute modification, qui sont pour rappel particulièrement nombreuses dans ce projet, exclusivement en 2D. Le rôle initial du coordinateur passe dans ce cas en arrière-plan étant donné cette charge de travail importante qui lui est ajoutée. Le temps nécessaire pour effectuer une modification et extraire les documents 2D est également mésestimé.

*« Parfois aussi pour eux, ils prennent un mur, il le déplace d'un mètre et se disent que c'est pas grave, ça fait rien. Mais quand tu vois tout le processus qu'il y a derrière à faire tu dois aller créer des plans, les remettre tous à jour. Ton petit changement que tu penses qui prend 5min parce que tu fais juste déplacer, ça te prends limite une journée en fait. Les gens ne pensent pas à tout l'impact que ça peut avoir. »*

Par contre, lors des entretiens, les personnes interviewées ont insisté sur le fait que sans l'utilisation du BIM sur le projet, il serait impossible de pousser le projet en effectuant autant de modifications. Le BIM est tout de même perçu positivement par les responsables du projet.

De plus, les personnes interrogées indiquent également un manque de compréhension de l'importance de la précision des modèles. De nombreuses modifications sont effectuées sur le chantier sans prévenir les modeleurs. Le modèle n'est, par conséquent, plus conforme à la réalité et d'autres problèmes de collisions alors inexistantes numériquement apparaissent sur le chantier.

#### IV.4.11 PROJET 3 — ELÉMENTS D'ANALYSE ET DE SYNTHÈSE

De la même manière que cela a été réalisé pour les projets 1 et 2, les tableaux suivants caractérisent les outils, puis présentent les freins à la collaboration remarquables du projet.

Dans un premier temps, caractérisons (voir tableau 21) les différentes tâches supportées par le système d'information d'après les modes de travail collaboratifs.

**Tableau 21 : Caractérisation du système d'information du projet 3 d'après les modes de travail collaboratifs**

<p><b>Co-conception</b> ----- <b>Synchronisation cognitive</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réunions de coordination, appels via <i>Teams</i></li> <li>- Assignment et résolution de clash via <i>BIM Collab</i></li> <li>- Demande et suivi de modification du projet via <i>Kairnial</i></li> </ul>
<p><b>Conception distribuée</b> ----- <b>Synchronisation opératoire</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modélisation synchrone via <i>BIM360</i></li> <li>- Détection de clash via <i>Navisworks</i></li> </ul>

Les outils et collecticiels utilisés dans le projet sont classifiables selon leur support aux différentes branches des « 5 Co » (voir tableau 22), le temps et l'espace (voir tableau 23) et finalement leur flexibilité (voir tableau 24).

**Tableau 22 : Classification des outils du projet 3 selon les "5 Co"**

Identifié dans la littérature	Identifié dans le projet 3
Support à la <b>communication</b>	<p><i>Teams</i> <i>Mails</i> <i>BIM Collab</i> <i>Kairnial</i></p>
Support à la <b>co-production</b>	<p><b>En I-Space :</b></p> <p><i>Revit</i> <i>Tekla</i> (modèle structure)</p> <p><b>En We-Space :</b></p> <p><i>BIM360</i></p>

Support à la <b>coordination</b>	<i>Navisworks</i> pour la détection de clash <i>BIM Collab</i> pour l'assignation de clash
Support à la <b>co-mémorisation</b>	<i>BIM360</i> Share Point <i>Teams</i> <i>Kairnial</i> (dépôt et archivage de fichiers)
Support au <b>contrôle des processus</b>	<i>Kairnial</i> (workflow de validation)

Tableau 23 : Matrice espace/temps des outils du projet 3

	Synchrone	Asynchrone
<b>Lieux identiques</b>	<i>BIM360</i>	<i>Kairnial</i> <i>BIM Collab</i> SharePoint interne <i>Teams</i>
<b>Lieux différents</b>	<i>Teams</i> (appels)	<i>Teams</i> (discussions)

Tableau 24 : Flexibilité et modes de coopérations exploitées des outils du projet 3

	Manque de flexibilité soulevé	Coopération asynchrone	Coopération en session	Coopération en réunion	Coopération étroite
<i>BIM Collab</i>	X	X	X		
<i>Kairnial</i>	X	X	X		
<i>BIM360</i>		X	X		X

Enfin, le tableau suivant (voir tableau 25) regroupe les différents freins repérés dans ce projet d'après leur nature.

Tableau 25 : Classification des freins à la collaboration du projet 3

Identifiés dans la littérature	Identifiés dans le projet 3	Impact potentiel sur le SI
Manque de <b>connaissances</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aisance des collaborateurs avec les outils BIM</li> <li>- Minimisation du temps nécessaire à la modélisation</li> </ul>	Simplification et minimisation des manipulation à effectuer par les sous-traitants
Manque de <b>volonté</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contexte contractuel</li> <li>- Investissement pour apprendre à manipuler les outils</li> </ul>	
Manque de <b>temps</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modifications nombreuses</li> <li>- Fréquence des validations (audits)</li> <li>- Coordination et exécution simultanée</li> </ul>	Modification des processus prévus initialement
Manque de <b>moyens techniques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Performance des outils</li> <li>- Flexibilité et personnalisation des outils</li> <li>- Tri de l'information par métadonnées</li> <li>- Interopérabilité</li> </ul>	Choix des plateformes et de leurs fonctionnalités exploitées
Qualité du travail	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Négligence et oubli dans la modélisation</li> </ul>	
Manque de <b>moyens financiers</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ampleur de l'équipe dédiée au BIM</li> <li>- Choix des sous-traitants</li> </ul>	
Manque de <b>confiance</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Négligence et oubli dans la modélisation</li> </ul>	

<b>Changement de volonté</b> des MO/MOA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Demandes de modification nombreuses</li> </ul>	
<b>Manque d'information</b> ou information erronée	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réactivité des collaborateurs</li> <li>- Méconnaissance des documents existants</li> </ul>	

# V. DISCUSSION

## V.1 DISCUSSION DES RÉSULTATS VIS-À-VIS DE LA RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

### V.1.1 LE SYSTÈME D'INFORMATION COMME SUPPORT À LA COLLABORATION

À l'issue de l'analyse de l'ensemble des cas d'études, il est désormais possible d'en observer les similitudes et particularités, et plus spécifiquement les éléments renseignant le niveau de collaboration.

Tout d'abord, le plus évident des points communs entre les différents projets est le recours systématique à un outil orienté mémoire, le Model Management System, un outil orienté routage, le Document Management System, ainsi qu'un outil orienté échange, l'Issue Management System. Pour chaque projet, ces trois outils sont indispensables et représentent l'épicentre de la gestion de l'information. Plusieurs logiciels disponibles sur le marché peuvent s'apparenter à une même typologie d'outils. Chaque projet peut par conséquent avoir recours à un outil différent. L'ensemble des projets ont fait le choix d'utiliser *BIM360* tel le MMS et *BIM Collab* tel l'IMS de leur système d'information. La sélection du DMS varie, quant à elle, d'un projet à l'autre. Les plateformes sont respectivement pour les différents cas d'études : *Aconex*, *Bricsys* et *Kairnial*.

Ensuite, pour chaque projet étudié, le système d'information mis en place permet de supporter à la fois des phases de co-conception et de conception distribuée nécessaires à l'aboutissement d'un projet collaboratif. Par exemple, alors que les outils d'échanges permettant d'entamer des discussions sur des problèmes ou des remarques assurent des prises de décisions en co-conception, le travail en I-Space des collaborateurs sur leurs modèles métiers représente le mode de conception distribué. Le projet est descriptible telle une succession des phases de conception distribuée et de co-conception.

La théorie des « 5 Co » a également été appliquée aux collecticiels, aux outils constituant les systèmes d'information. Pour chacun des cas d'étude, les cinq aspects étaient représentés à l'aide de minimum un outil par aspect. Alors qu'un nombre excessif d'outils dédiés au support d'un même aspect semble complexifier l'organisation du projet, son unicité semble insuffisante. Effectivement, les outils dédiés à la communication sont nombreux et

dupliquent les informations dans certains cas. Il est par conséquent important de définir avec précision quels outils sont à employer selon la nature de l'échange. En opposition à cela, les outils permettant le support de contrôle de processus sont en minorité et concernent uniquement les validations d'information destinée à la publication (Published). Aucun des projets étudiés n'exploitait de fonctionnalité dédiée à la vérification de modèles entre les états Work In Progress et Shared. Un seul projet établit un contrôle à cet instant du processus, cependant, celui-ci est manuel, non automatique.

Un autre point commun à l'ensemble des projets est la présence sur chacun d'entre eux d'un espace de travail privatif indiquant la nécessité pour chaque équipe de collaborateurs de disposer d'un I-Space. À l'intérieur de celui-ci, les entreprises peuvent organiser leur travail et leurs documents selon leurs habitudes propres. Ensuite, lorsque que le collaborateur est satisfait et estime que son travail et l'information qu'il contient sont prêts à être diffusés, il peut partager son contenu en le publiant sur la plateforme disposant du We-Space adéquat.

De plus, à l'exception du troisième projet présenté qui exploite les fonctionnalités *cloud* de partage d'information instantané dans la modélisation, les deux autres projets se limitent principalement à des interactions asynchrones, différées. Les échanges sont ponctuels et lors de la nécessité d'obtenir une information rapidement, les outils d'échange principaux ne permettent pas d'assurer une réponse instantanée de la part de l'interlocuteur, pouvant ralentir les processus mis en place.

Il est important de préciser que les projets ont une utilisation modeste des possibilités d'exploitation du modèle BIM. La coordination géométrique des éléments composant les modèles, la synthèse et la création d'un modèle As-Built sont les utilisations des modèles communes à l'ensemble des projets. Deux d'entre eux exploitent également le modèle afin de réaliser de l'extraction de quantité. Cependant, d'autres utilisations telles que la planification, le contrôle des coûts, ou d'autres possibilités ne sont pas réalisées, ou du moins n'ont pas été identifiées.

En conclusion, l'ensemble des systèmes d'information étudiés dans le cadre de ce travail peuvent être qualifiés de support à la collaboration. Ceux-ci sont effectivement suffisamment développés puisqu'il est possible pour chacun des éléments de la grille d'analyse (définie dans la section III.3) de caractériser les éléments présents dans les

différents systèmes d'information. Cependant, le niveau de collaboration n'est pas optimisé et pourrait être amélioré. En effet, certaines fonctionnalités ne sont pas exploitées au maximum de leurs capacités, d'autres ne sont tout simplement pas disponibles dans les outils utilisés.

### V.1.2 LES FREINS À LA COLLABORATION

Dans cette étude, les différents freins rencontrés par les collaborateurs interrogés sur chacun des cas d'étude ont été présentés. De cette manière, une trentaine d'obstacles ont été soulevés. Parmi ceux-ci, certains étaient récurrents, c'est-à-dire qu'ils étaient présents dans au minimum deux des trois projets étudiés. Des problèmes liés à l'interopérabilité entre plateformes ainsi qu'un manque de volonté dû au contexte contractuel des collaborateurs ont été systématiquement soulevés.

Les freins présents sur deux des projets sont quant à eux :

- L'aisance limitée des collaborateurs vis-à-vis des outils BIM
- Le manque de réactivité des collaborateurs engendrant parfois l'arrêt des processus en cours et impactant l'ensemble de l'avancée du projet
- La coordination BIM simultanée à l'exécution
- Le manque de flexibilité et de personnalisation des outils
- Le manque de métadonnées accompagnant l'information
- Le manque de rigueur lors d'exports de modèles IFC

D'après Xue et al (2007), les problèmes de collaboration fréquents dans le cadre de projets de construction pour une entreprise générale sont :

- à un manque de qualité du travail
- aux changements de volonté des maîtres d'œuvre et d'ouvrage
- au manque d'information

L'ensemble de ces problèmes ont en effet été détectés pour l'un ou l'autre projet étudié. Cependant, ceux-ci ne font pas partie des freins les plus cités dans ces projets présentés précédemment.

Les obstacles significatifs des projets étudiés peuvent être présentés (voir tableau 26) selon leur catégorisation, s'ils sont plutôt apparentés à un problème technique ou s'il s'agit d'un problème plus humain, lié aux collaborateurs. Seul le problème de simultanéité entre la coordination et l'exécution ne peut être représenté dans ce tableau et n'y figure donc pas.

**Tableau 26 : Nature des freins rencontrés**

<b>Manque de moyens techniques</b>	<b>Manque lié aux collaborateurs</b>
Interopérabilité	Contexte contractuel
Manque de flexibilité des outils	Niveau BIM des collaborateurs
Manque de métadonnées de l'information	Niveau de réactivité des collaborateurs
	Manque de rigueur lors des exports

L'ensemble des cases grisées dans ce tableau entre directement ou indirectement en lien avec le système d'information du projet. Il semble alors qu'une adaptation de ces systèmes pourrait permettre une diminution significative des problèmes rencontrés lors de projets. Par exemple, cela pourrait être possible en sélectionnant des plateformes et outils appropriés selon les fonctionnalités attendues et leur facilité de prise en main. Néanmoins, si des outils actuels permettaient de surmonter l'ensemble des freins techniques cités tout en étant accessibles aux non-initiés, ceux-ci feraient dès lors l'unanimité auprès des entreprises. Il est par conséquent important pour les personnes ayant un rôle décisionnel dans l'utilisation et le choix des outils de se tenir au courant et de constamment être à la recherche de nouveaux outils.

Enfin, il semble utile de rappeler que ce travail met en évidence les freins de projets ayant recours au BIM mais ne cite aucunement les avantages que cela peut apporter. Lors des entretiens, l'ensemble des projets soulignait le fait que sans le BIM, gérer de tels projets ne pourraient être réalisés avec une telle efficacité et omniscience des projets et de leur avancée respective.

De plus, le système d'information tel que défini au commencement du projet, doit être un élément évolutif et flexible. Cette flexibilité peut permettre de pallier à un nombre non négligeable de problèmes et fluidifier les processus.

## **V.2 LIMITES DE L'ÉTUDE**

Parmi les éléments pouvant être un biais à cette étude, les choix de l'entreprise et de ses projets, ayant recours à des pratiques BIM particulièrement développées, ne sont pas sans conséquence sur les résultats obtenus. Une étude menée sur une population plus large de projets, mais aussi dans d'autres entreprises de construction permettrait certainement de mettre en avant des utilisations plus modestes de la technologie et apporterait plus de variétés dans les résultats.

Bien qu'une attention particulière ait été portée afin de rester objectif durant le déroulé de cette étude, il est inévitable dans une étude qualitative qu'une part de subjectivité soit présente lors du traitement des données et influence légèrement leur analyse et les résultats formulés. Le lecteur doit être conscient de ce biais éventuel lors de la lecture du document.

Ensuite, les projets étudiés dans le cadre de ces études de cas sont des projets qui s'écoulent sur plusieurs années. Il était donc parfois compliqué pour les personnes interrogées de se souvenir de la mise en place des outils, du système d'information dans son ensemble. Aussi, certaines personnes interviewées n'étaient tout simplement pas présentes à son commencement et avaient rejoint l'équipe projet par la suite. Ils avaient tout de même quelques éléments de réponse pour avoir eu des discussions à ce sujet avec d'autres collaborateurs, mais ces réponses étaient par conséquent plus des suppositions que de véritables souvenirs. Dans ce cas, les personnes me conseillaient de contacter d'autres personnes qui seraient, selon elles, capables de donner plus d'informations à ce sujet.

De plus, les entretiens se sont déroulés pour la moitié en vidéoconférences. En moyenne, ces entretiens étaient 40% plus courts que ceux réalisés en présence et comportaient, par conséquent, moins de données. Les entretiens à distance limitent les interactions spontanées et les questions de relances posées aux personnes rencontrées en face-à-face étaient plus nombreuses.

Un autre facteur notable à souligner est la jeunesse de l'ensemble des coordinateurs BIM rencontrés dans ces projets. Il s'agissait pour la plupart de leur premier projet depuis la fin de leurs études supérieures, ce qui pourrait compliquer le démarrage des projets et potentiellement le niveau de collaboration de ceux-ci étant donné le rôle central de ces personnes, leur manque de connaissances à cet instant du projet et l'importance des premiers

instants d'un projet. La présence de coordinateurs plus expérimentés induirait potentiellement des résultats différents.

Le contexte particulier de la crise sanitaire entre 2019 et 2021 qui a touché l'ensemble des projets étudiés n'est pas non plus négligeable et a potentiellement eu un impact sur l'organisation des systèmes d'informations mis en place pour favoriser le travail à distance, mais également sur le niveau global de la collaboration du projet les habitudes étant chamboulées.

Enfin, il semble important de rappeler que les données récoltées lors des entretiens ne sont pas exhaustives. D'autres freins non évoqués par les personnes ont certainement eu lieu au cours du projet. Les éléments dans ce travail se basent sur le ressenti et le vécu des personnes interrogées. Un frein cité dans un projet et non dans un autre ne signifie pas pour autant qu'il n'était pas présent dans le second, mais du moins qu'il n'a pas marqué la personne participant à l'entretien.

### **V.3 APPORTS**

Ce travail a pour objectif, sur bases des nombreuses recherches menées dans le domaine de la collaboration, d'établir une connexion, actuellement peu documentée dans la littérature, entre la mise en place d'un système d'information de projet et le niveau de collaboration ressenti par ses acteurs. La présentation des pratiques en entreprise et leur analyse pourraient potentiellement permettre à d'autres projets de développer une meilleure anticipation des problèmes freinant la collaboration et ainsi faire gagner le projet en efficience.

### **V.4 PERSPECTIVES**

Comme pour toute recherche basée sur des études de cas, l'augmentation du nombre de cas étudiés est toujours un objectif afin d'enrichir les données récoltées et permettre de compléter et remettre en cause les résultats obtenus. L'étude de projets d'une autre entreprise que celle participant à ce travail pourrait mettre en évidence une variété d'éléments supplémentaires et apporter une autre vision sur la collaboration dans les projets de construction.

La multiplicité des profils interrogés pourrait également être élargie afin de récolter des données provenant de personnes possédant un autre point de vue. La rencontre de collaborateurs sous-traitants notamment amènerait un avis extérieur à l'entreprise générale et permettrait sans doute d'apporter quelques nuances.

Ensuite, cette recherche est un travail d'identification des problèmes de collaboration rencontrés et potentiellement résolubles à l'aide d'une révision du système d'information mis en place. Une recherche future se basant sur ce travail actuel pourrait proposer une ou plusieurs possibilités de révisions concrètes des systèmes d'information.

Enfin, les pratiques et technologies étant en constante évolution, la reproduction de cette étude quelques années après sa publication pourrait permettre de constater l'évolution des pratiques, mais aussi de faire perpétuer son utilité et la pertinence de ses résultats.

## VI. CONCLUSION

Dans cette recherche, les pratiques et les réflexions portées au système d'information du projet ont été interrogées. La structure de ces systèmes d'information a-t-elle un impact direct sur la collaboration ressentie par des équipes du projet ? Parmi les aspects semblant freiner la collaboration d'un projet, lesquels pourraient être éventuellement surmontés à l'aide d'une meilleure structuration de projet ? Afin de répondre à ces questionnements et d'être au plus proche des pratiques habituelles mises en place, l'approche choisie se base sur une enquête de projets réels. Trois projets réels ont été sélectionnés puisqu'ils étaient d'ampleur suffisante avec des enjeux de collaboration particulièrement importants étant donné la multitude d'acteurs présents.

Une recherche bibliographique a permis dans premier temps de mieux cerner ce que représente la vaste notion qu'est la collaboration. Elle a également permis de définir une série de caractérisations applicables au travail collaboratif outillé et particulièrement aux collecticiels utilisés afin d'être capable à termes de décrire et analyser les systèmes d'information mis en place dans les projets à l'aide de critères déterminés.

L'approche méthodologique définie pour l'étude de cas est d'une part l'exploration en autonomie des systèmes d'information des différents projets, c'est-à-dire la lecture de documents ou encore l'investigation d'outils et de plateformes d'échange d'information utilisés par les collaborateurs. D'autre part, une batterie d'entretiens d'une durée approximative de 45 minutes en moyenne a été réalisée ; trois entretiens semi-directifs par projet avec les responsables BIM respectifs ainsi que l'un ou l'autre profil pertinent selon le projet étudié. La récolte de données qualitatives a été encadrée à l'aide de grilles d'analyse et d'entretien définies en amont.

Les données recueillies ont permis d'avoir une vision claire des différents systèmes d'information mis en place mais également d'obtenir des informations décrivant le niveau de collaboration. Celui-ci a été évalué d'après les éléments et problèmes en lien avec la collaboration avancés par les membres des équipes lors des entretiens. Les systèmes

d'information théoriques mais aussi leurs réelles utilisations ont ainsi été cernés. À l'aide de ces données et des concepts théoriques définis au début de la recherche, il a finalement été possible d'apporter des éléments de réponse aux questionnements motivant cette recherche.

Premièrement, les systèmes d'information mis en place dans les projets étudiés représentent effectivement un support au travail collaboratif. En effet, ceux-ci disposent de l'ensemble des aspects nécessaires à la mise en place d'une collaboration outillée. Leur analyse a également permis de définir le niveau d'exploitation des fonctionnalités collaboratives de ces outils. Les résultats démontrent que la majorité des interactions ne sont pas instantanées, c'est-à-dire en asynchrone, et que les requêtes peuvent donc prendre du temps à être résolues et potentiellement freiner les processus prévus.

Secondement, les freins à la collaboration identifiés par les acteurs des projets correspondent à ceux définis dans la théorie. Parmi ces freins, la majorité d'entre eux peuvent être mis en lien avec le système d'information, ce qui indique que des améliorations de la collaboration peuvent être atteignables en leur apportant une révision.

Lors de la lecture de ce travail, il est important d'être conscient que celui-ci et ses résultats sont éventuellement fortement influencés par le choix de l'entreprise et des projets étudiés. L'échantillon de projets analysé est minime et mériterait dans de futures recherches d'être élargi. La nature qualitative des données récoltées présente également un risque lié à la subjectivité inévitable lors de leur analyse.

Enfin, la poursuite évidente de ce travail, outre l'élargissement de sa population, est la proposition d'améliorations concrètes des systèmes d'information présentés.

## VII. BIBLIOGRAPHIE

- ADEB-VBA, BIM working group (2015). *Building Information Modelling - Belgian Guide for the construction history: The guide to Building Information Modelling*.
- Amosse T., Guillemot D., Moatty F., Rosanvallon J. (2010). « Échanges informels et relations de travail à l'heure des changements organisationnels et de l'informatisation ». In *Rapports de recherche du CEE n°60*. Centre de l'étude de l'emploi.
- Arribe T. (2014) *Conception des chaînes éditoriales : documentariser l'activité et structurer le graphe documentaire pour améliorer la maîtrise de la rééditorialisation informatique* [Thèse de doctorat] Université de Technologie de Compiègne.
- Baïna K. (2013). « Les systèmes d'information entre formel et informel ». In *E-Review in Technologies Information*. 7-18
- Balmisse G. (2004) « Les nouveaux outils et technologies du travail collaboratif : produire, communiquer, coordonner facilement » In *Les enjeux et la réalité française du travail collaboratif et des communautés de pratiques*. Paris.
- Beach T., Petri I., Rezgui Y., Rana O. (2017). « Management of collaborative BIM data by federating distributed BIM models. » In *Journal of Computing in Civil Engineering*
- Ben Rajeb S. et Leclercq P. (2015). « Instruments for Collective Design in a Professional Context: Digital Format or New Processes ? ». In *ACHI, The Eighth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions*.
- Benali K., Bourguin G., David B., Derycke A., Ferraris C. (2002) « *Collaboration / Coopération* ». In *Information Interaction Intelligence*, Nancy.
- BIME Initiative (2015) *Tableau des usages de modèles*. Accessible via <https://bimexcellence.org/wp-content/uploads/211in.FR-Tableau-des-usages-de-mod%C3%A8le.pdf> (Consulté le 27/07/2022)
- Bobillier-Chaumon, M.-E. (2016). « L'acceptation située des technologies dans et par l'activité: premiers étayages pour une clinique de l'usage ». In *Psychologie du travail et des organisations*. Elsevier Masson
- Boton C. (2013). *Conception de vues métiers dans les collecticiels orientés service. Vers des multi-vues adaptées pour la simulation collaborative 4D/nD de la construction*. [Thèse de doctorat] Université de Lorraine.
- Boton C. et Forgues D. (2018). « Comprendre l'impact du numérique sur la gestion de projet en construction ». In *Lien social et Politiques*.

- Bourguig K. et Boutros N. (2017) « Méthodologie de développement informatique pour rendre le BIM accessible aux entreprises du bâtiment. » In *Le BIM éclairé par la recherche*. Eyrolles, Paris.
- CAE Conseil des architectes d'Europe. (2017) « Le BIM en Europe » In *Cahier de la Profession*.
- Darses F., et Falzon P. (1996). « La conception collective : une approche de l'ergonomie cognitive ». In *G. de Terssac & E. Friedberg, Coopération et conception*. Toulouse. 123-135
- de Boissieu, A. (2020). « Super-utilisateurs ou super-spécialistes ? Cartographie des catalyseurs de la transformation numérique en agence » In *Cahiers de la Recherche Architecturale Urbaine et Paysagère*.
- Dewan P. (1992) « *Principles of Designing Multi-User Interface Development Environments* ». In *CSCW '92 Proceedings*.
- Dieng, R. (2001) « Méthodes et outils pour la gestion des connaissances ». In *CRISAM*. Dunod, Paris
- Durand, J. (2009). « Le travail collaboratif : des illusions à d'éventuels possibles ». In *Marché et organisations n°10*. L'Harmattan. 15-28.
- Ellis C. et Wainer J. (1994). « A conceptual model of groupware ». In *ACM Conference on Computer supported cooperative work*. 79-88.
- Engelbart, D et English, W. (1968) « A Research center for augmenting human intellect ». In *Proceedings The Fall Joint Computing Conference n°33*. 395-410.
- Ferries B. et de Boissieu A. (2018). « Pour une interopérabilité dynamique. » In *A la Pointe du BIM*. Eyrolles, Paris.
- Fougères A-J. et Ospina V. (2009). « Aide à la conception collaborative. Un système de médiation pour l'usage de micro-outils logiciels. » In *Cognito - Cahiers Romains de Sciences Cognitives*. Grenoble. 89-121.
- Fuks, H., Raposo A., Gerosa, M., Pimental, M., Lucena C. (2007). « The 3C collaboration model ». In *Encyclopedic of E-Collaboration*. Information Science Reference. New York
- Gangloff-Ziegler C. (2009) « Les freins au travail collaboratif ». In *Marché et organisations n°10*. L'Harmattan. 95-112.
- Guerriero A. (2009) *La représentation de la confiance dans l'activité collective. Application à la coordination de l'activité de chantier de construction. Architecture, aménagement de l'espace*. [Thèse de doctorat] Institut National Polytechnique de Lorraine.
- Guide du bâtiment durable. « BIM ». Accessible via (dernière consultation le 14/07/22) : <https://www.guidebatimentdurable.brussels/bim>

- Hamadache K. (2011) *SMART & SEAMLESS COLLABORATION Bringing Pervasive Computing to the Computer Supported Collaborative Work Informatique ubiquitaire*. [Thèse de doctorat]. Université des Sciences et Technologie de Lille.
- Hughes R., Ginnett R., Curphy G. (2005). *Leadership*. McGraw-Hill Education.
- Jeantet, A. (1998). « Les objets intermédiaires dans la conception. Eléments pour une sociologie des processus de conception. » In *Sociologie du travail n°40*. Elsevier, Paris. 291-316.
- Johnson-Lenz P. (1990). « Rythmes, limites et conteneurs ». In *Technologie d'éveil*
- Karoui M. et Dudezert A. (2016). « Transformation digitale : De l'assimilation des technologies de collaboration à la mise en usage ». In *Conférence de l'Association Information et Management*. Lille.
- Karsenty L., et Pavard, B. (1997). « Différents niveaux d'analyse du contexte dans l'étude ergonomique du travail collectif ». In *Réseaux n°85*, 73-99.
- Kohn L. et Christiaens L. (2014) « Méthodes de recherches qualitatives dans la recherche en soins de santé : apports et croyances » In *Reflets et perspectives de la vie économique*. De de Boek Supérieur, Belgique. 67-82.
- Kramer R. M. (1999). « Trust and Distrust in organizations: Emerging perspectives, enduring questions ». *Annual Review of Psychology n°50*. 569-598.
- Levan S. (2013) « Si le travail collaboratif m'était conté » In *Travail+ Collaboration Report*.
- Levan S. (2016). *Management et collaboration BIM*. Eyrolles, Paris.
- Levan S. (2019) Interviewé par Mounia Van de Castele. *Xerfi Canal*. 18/11/2019. Accessible via : [https://www.xerficanal.com/business/emission/Serge-Levan-Le-defi-de-l-intelligence-collaborative\\_3747737.html](https://www.xerficanal.com/business/emission/Serge-Levan-Le-defi-de-l-intelligence-collaborative_3747737.html) (Consulté le 28/06/2022).
- Lonchamp J. (2003). *Le Travail Coopératif et ses technologies*. Hermès. Paris, France.
- Mao S., Lebrun J.-L., Doukari O., Aguejdad R., Yuan Y. (2015). « Modélisation 3D BIM multi-échelle d'un projet BTP Tunnel. » In *SAGEO*.
- Marin P. et Cuba Segura J. (2014). « Outils, méthodes et acteurs : analyse des limites à l'utilisation de la maquette numérique. » In *SCAN'14 : Séminaire de Conception Architecturale Numérique*. Luxembourg.
- Messner J., Anumba C., Dubler C., Goodman S., Kasprzak C., Kreider R., Leicht R., Saluja C., Zikic N. (2019). « BIM Project Execution Planning Guide » In *Computer Integrated Construction Research Program*, Pennsylvania.
- Moles A. (1986). *Théorie structurale de la communication et société*. Masson, Paris.

- Ouni A. (2008) *L'élaboration de modèles et d'outils pour l'analyse et la conception des usages des outils de travail collaboratif en entreprise*. [Thèse de doctorat]. Ecole des Arts et Manufactures. Paris.
- Poinet P., Stefanescu D., Papadonikolaki E. (2020). « Collaborative Workflows and Version Control Through Open-Source and Distributed Common Data Environment. » In *ICCCBE*, Sao Paulo.
- Preidel C., Borrmann A., Mattern H., König M., Schapke S.-E. (2018). « Common Data Environment. » In *Building Information Modeling - Technology Foundations and Industry Practice*. Springer. 279-291.
- PTNB (2018) *Le développement du BIM - Benchmark européen*. Plan BIM.
- Silva F. et Ali A. (2010). « Emergence du travail collaboratif : Nouvelles Formes d'Organisation du Travail. » In *Management & Avenir*. 340-365.
- Senthilvel M., Oraskari, J., Beetz J. (2020). « Common Data Environments for the Information Container for linked Document Delivery. » In *LDAC*, Dublin.
- Tarpin-Bernard F. et David B.-T. « Ergonomie du Travail coopératif en conception ». In *ERGO-IA '96*. Biarritz.
- Tarpin-Bernard F. « La flexibilité dans les collecticiels ». In *GDR I3*, Cépaduès.
- Xue X., Wang Y., Shen Q., Yu X. (2007). « Coordination mechanisms for construction supply chain management in the Internet environment ». In *International Journal of Project Management* n°25. 150–157.

# VIII. ANNEXE

## VIII.1 GRILLE D'ENTRETIEN GÉNÉRALE

### Grille d'entretien

Date :  
Participant :  
Projet :

#### Contexte :

La préparation à l'exécution est une phase des projets de construction qui nécessite la participation d'un grand nombre d'acteurs ayant chacun un parcours et une formation propre. Les réflexions menées pour renforcer la collaboration et la communication entre ces différents acteurs deviennent par conséquent une nécessité pour assurer le déroulement du projet.

L'étude a pour objectif de déterminer les apports et limites de l'utilisation du BIM, particulièrement l'organisation du système d'informations du projet, en termes de collaboration et de communication.

#### Entretien :

##### **Questions personnelles :**

- Pouvez-vous rapidement décrire votre formation ainsi que votre parcours professionnel ?
- Quelle est votre expérience des outils BIM ?
- Contractuellement parlant, quel est le rôle de Besix dans ce projet ?
- Quel est votre rôle dans ce projet ?

##### **Description générale**

- Pouvez-vous me parler des systèmes d'échanges de données/d'information du projet ?
- Quels sont les logiciels et outils que vous avez eus à manipuler dans le cadre de ce projet ? (Avez-vous les connaissances nécessaires pour les utiliser correctement ?)

DÉFINITION DU SYSTÈME D'INFORMATION (SI) si nécessaire :

Elément central d'un projet permettant aux différents acteurs de partager des informations, de communiquer et de collaborer à l'aide de ressources matérielles, logicielles et humaines.

##### **Mise en place et évolution du système**

- Avez-vous été concerté pour la mise en place du protocole BIM définissant l'organisation du projet ?
- Le SI a-t-il évolué au fur et à mesure du projet, les conventions décrites dans le protocole et/ou le BIM Exécution plan ont-elles été modifiées en vue d'améliorer l'efficacité du projet ?

**Clarté et facilité d'usage**

- L'organisation du système d'information vous semblait-elle cohérente et claire ?
- Sur base de quoi avez-vous organisé le SI ?
  
- Quelles sont les manipulations que vous avez eues à réaliser dans le SI ?
- Aviez-vous accès à l'ensemble des documents/fichiers du projet ?
- Pouvez-vous décrire le système de validation/partage de fichier mis en place, sa faisabilité et ses limites ?
- Avez-vous eu des problèmes de compatibilité/interopérabilité lors de ce projet ?
- Les collaborateurs savaient-ils précisément où déposer leurs fichiers, mais aussi où aller chercher des informations publiées par d'autres ?

**Communication**

- Comment communiquez-vous au sein du projet avec vos collègues de Besix et avec les collaborateurs extérieurs ?
- Avez-vous eu recours à d'autres moyen de communication que ceux définis dans le projet ?

**Ressenti personnel**

- Aviez-vous confiance en la qualité des documents mis à disposition par les autres collaborateurs ?
- Avez-vous eu le sentiment d'être bloqué dans votre travail par les outils numériques mis à votre disposition ?

**Freins et leviers**

- Plus généralement, quels étaient selon vous les point positifs et négatifs du SI mis en place ?
- Que pensez-vous mettre en place dans de futurs projets pour palier à ces problèmes ? Avez-vous des suggestions quant à une amélioration de la structuration des SI ?
- Seriez-vous ouverts à tester de nouvelles structurations de projet, ou de nouvelles plateformes (si oui lesquelles ?) dans le but d'améliorer la collaboration ?